



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**29.07.2009 Patentblatt 2009/31**

(51) Int Cl.:  
**H01L 41/09 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **09151415.8**

(22) Anmeldetag: **27.01.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA RS**

(30) Priorität: **28.01.2008 DE 102008006296**

(71) Anmelder: **DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
**51147 Köln (DE)**

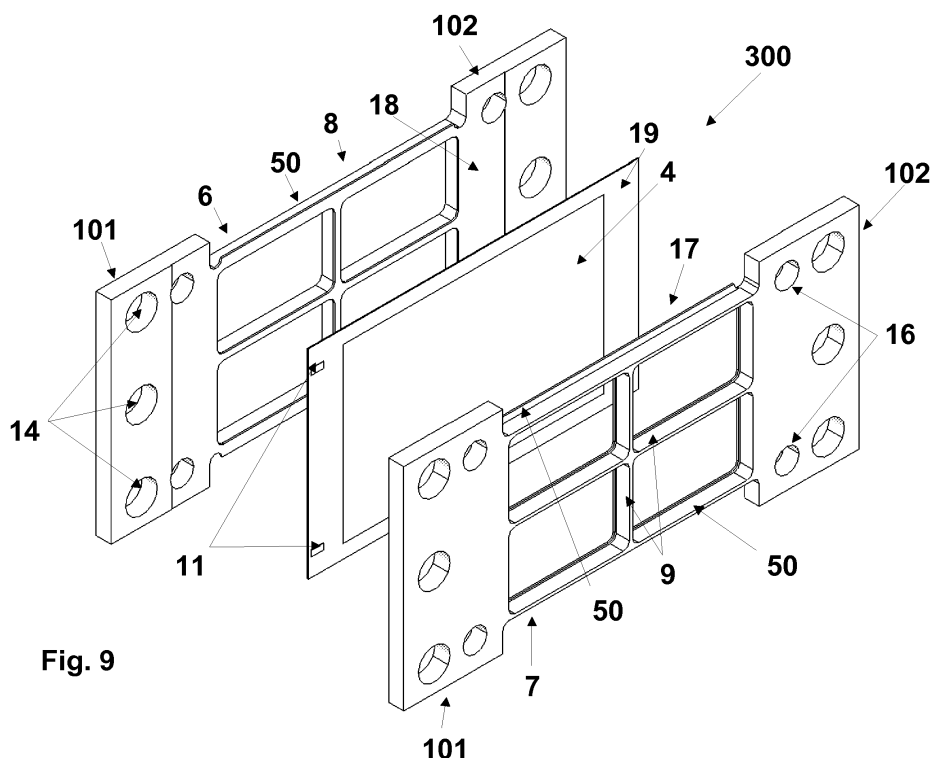
(72) Erfinder:  
• **Natterer, Franz Josef**  
**38100 Braunschweig (DE)**  
• **Jahn, Steffen**  
**38108 Braunschweig (DE)**

(74) Vertreter: **Rehberg Hüppe + Partner**  
**Patentanwälte**  
**Nikolausberger Weg 62**  
**37073 Göttingen (DE)**

(54) **Schubaktuator und mit einem solchen Schubaktuator versehener Träger**

(57) Bei einem Schubaktuator (300) mit einem aktiven Flächenmaterial (4), das in einer in seiner Hauptstreckungsebene verlaufenden Verformungshaupttrichtung auf Expansion und/oder Kontraktion ansteuerbar ist, ist das aktive Flächenmaterial (4) in einen in seiner Hauptstreckungsebene verlaufenden und in dieser Hauptstreckungsebene schubweichen Rahmen ange-

ordnet, wobei die Verformungshaupttrichtung des ansteuerbaren aktiven Flächenmaterials (4) zu allen Seiten des Rahmens geneigt verläuft, so dass einander gegenüberliegende Seiten des Rahmens (8) bei Ansteuerung des aktiven Flächenmaterials (4) in seiner Verformungshaupttrichtung auf Expansion oder Kontraktion gegeneinander verschoben werden.



**Fig. 9**

## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf einen Schubak-  
tuator mit einem aktiven Flächenmaterial, das in einer in  
seiner Haupterstreckungsebene verlaufenden Verfor-  
mungshaupttrichtung auf Expansion und/oder Kontrakti-  
on ansteuerbar ist. Weiterhin bezieht sich die vorliegende  
Erfindung auf einen Träger mit einem Steg und mit zwei  
durch den Steg verbundenen Gurten. Ein solcher Träger  
kann z. B. als Holm oder Spant eines Fluggeräts Ver-  
wendung finden.

### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Aktive Materialien, die in ihrer konkreten Aus-  
gestaltung auch als Aktuatoren ausgezeichnet werden,  
werden vielfach auf eine Primärstruktur aufgebracht oder  
in diese integriert, die bereits als solche in der Lage ist,  
die auftretenden Strukturlasten passiv abzustützen. Bei  
derartiger Funktionstrennung von aktiver und passiver  
Struktur muss nicht nur die passive Struktur die vollen  
Strukturlasten aufnehmen können, sondern auch die ak-  
tive Struktur muss stark dimensioniert werden, weil die  
aktive gegen die passive Struktur arbeiten muss. Eine  
resultierende Verformung der passiven Struktur wird da-  
bei durch das Verhältnis der aktiven und passiven Stei-  
figkeit begrenzt. D. h., die erzielbare freie Verformung ist  
umso geringer, desto größer das Steifigkeitsverhältnis  
von passiver und aktiver Struktur ist. Dies ist Ausdruck  
der Tatsache, dass die passive Struktur den größten Teil  
der Verformungsenergie aufnimmt, um überhaupt ver-  
formt zu werden.

**[0003]** Aus der US 6,629,341 B2 und aus der US  
4,197,798 B2 sind aktive Flächenmaterialien bekannt,  
die als Schubaktuatoren mit den Merkmalen der ein-  
gangs beschriebenen Art einsetzbar sind. Dabei bauen  
diese bekannten aktiven Flächenmaterialien auf neben-  
einander angeordneten piezokeramischen Fasern auf,  
die durch planparallel zu der Ebene der piezokerami-  
schen Fasern verlaufende Elektrodenanordnungen mit  
elektrischen Feldern beaufschlagt werden. In den Elek-  
trodenanordnungen greifen fingerartige Elektroden ent-  
gegen gerichteter Polarität quer zu der Haupterstrek-  
kungsrichtung der piezokeramischen Fasern ineinander.  
Die resultierenden elektrischen Felder verlaufen mit sich  
über jede Elektrode hinweg umkehrender Polarität in  
ausreichendem Maße in der Haupterstreckungsrichtung  
der piezoelektrischen Fasern, um diese mit einer an die  
Elektroden angelegten Spannung auf eine Längenände-  
rung, d. h. Expansion oder Kontraktion, anzusteuern.  
Hieraus resultiert ein Druck bzw. Zug zwischen den En-  
den der piezoelektrischen Fasern. Die piezoelektrischen  
Fasern können bei einem rechteckigen Flächenmaterial  
bekanntermaßen in Querrichtung, in Längsrichtung oder  
aber diagonal verlaufen. Entsprechende aktive Flächen-  
materialien sind von der Smart Material GmbH, Dresden,

(www.smart-material.com) als so genannte "Macro Fibre  
Composites" kommerziell erhältlich. Dabei sind Ausführ-  
ungsformen verfügbar, die neben einem Aktuatorebe-  
reich auch einen grundsätzlich gleich aufgebauten Sen-  
sorbereich in derselben Haupterstreckungsebene auf-  
weisen, um Verformungen der "Macro Fibre Composites"  
bzw. einer diese umfassenden Struktur zu erfassen. In  
ihren bekannten Verwendungen als Schubaktuatoren  
werden die "Macro Fibre Composites" flach auf ein pas-  
sives Trägermaterial aufgeklebt, das direkt Teil einer bei-  
spielsweise in Hinblick auf Schwingungen zu dämpfen-  
den Struktur sein kann.

**[0004]** In vielen technischen Bereichen kommen Trä-  
ger mit einem Steg zum Einsatz, der zwei Gurte mitein-  
ander verbindet. Dabei können diese beiden Gurte, die  
bei vertikaler Ausrichtung des Stegs auch als Obergurt  
und als Untergurt bezeichnet werden, jeweils mittig durch  
den Steg abgestützt sein, woraus ein so genannter Dop-  
pel-T-Träger resultiert. Die Gurte können aber auch je-  
weils endseitig durch den Steg abgestützt sein, was der  
Konfiguration eines so genannten "U-Trägers" ent-  
spricht. Auch andere Konfigurationen sind möglich. Bei  
all diesen Trägern mit einem zwei Gurte verbindenden  
Steg, der aufgrund seines englischen Namens auch als  
"Web" bezeichnet wird, wird der Steg bei einer Biegebe-  
anspruchung des jeweiligen Trägers in Querrichtung zu  
den Haupterstreckungsebenen der Gurte auf Schub be-  
ansprucht. Dabei verteilt sich die Schubbelastung über  
die gesamte Fläche des Stegs und wird entsprechend  
großflächig abgestützt. Bei einem herkömmlichen Träger  
mit passivem Steg sorgt dieser passive Steg so für eine  
erhebliche Erhöhung der Biegesteifigkeit. Durch Aktua-  
toren, die auf einen herkömmlichen passiven Träger auf-  
gebracht werden, kann dieser, wegen seiner gegenüber  
den aktiven Komponenten sehr hohen Steifigkeit, nicht  
sinnvoll verformt werden.

**[0005]** Aus der US 2002/0005679 A1 ist ein Schubak-  
tuator mit einem in einer Haupterstreckungsebene ver-  
laufenden und in dieser Haupterstreckungsebene ge-  
schlossenen, aber schubweichen Rahmen bekannt. Der  
Rahmen weist eine rechteckige Grundform mit zwei Paa-  
ren von parallel zueinander verlaufenden Seiten auf, die  
durch Festkörpergelenke untereinander verbunden sind.  
Zwischen den Seiten eines dieser Paare, die als An-  
schlusselemente des Schubaktuators dienen, und ge-  
neigt zu diesen verläuft ein Linearaktor, insbesondere  
in Form eines Piezostapels. In Richtung seiner linearen  
Haupterstreckung bringt der Linearaktor lokal eine  
Kraft, insbesondere eine Druckkraft, zwischen den bei-  
den Seiten des Rahmens auf. Dabei verläuft der Linea-  
raktor auch geneigt zu den beiden anderen Seiten  
des Rahmens, die die Anschlusselemente des Schubak-  
tuators als biegeeweiche Stützgurte verbinden.

**[0006]** Aus der DE 42 20 177 A1 ist eine Vorrichtung  
zur Betätigung eines Ventilelements bekannt, bei der ein  
C-förmiger Kipphebel durch wechselweise Ansteuerung  
von zwei parallel zueinander angeordneten sowie einer-  
seits an einem Arm des Betätigungshebels und anderer-

seits an einem Abstützelement abgestützten Linearaktuatoren in einander entgegen gesetzten Richtungen verkippt wird. Dabei sind die Linearaktuatoren in Form von Piezostapeln vorgesehen, und das Abstützelement ist innerhalb des C-förmigen Kipphebels angeordnet. Auf der dem Kipphebel gegenüber liegenden Seite werden die Linearaktuatoren von einem Grundkörper, von dem das Abstützelement absteht, überspannt. Eine Vorspannkraft auf die Linearaktuatoren wird durch einen zwischen ihnen angeordneten Spannbolzen aufgebracht.

### **AUFGABE DER ERFINDUNG**

**[0007]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Schubaktor mit den Merkmalen der eingangs beschriebenen Art aufzuzeigen, mit dem große Verformungen realisierbar sind. Insbesondere soll der Schubaktor zur Integration in einen Träger mit einem Steg und mit zwei durch den Steg verbundenen Gurten geeignet sein, um einen solchen Träger global zu verformen.

### **LÖSUNG**

**[0008]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch einen Schubaktor mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Die abhängigen Patentansprüche 2 bis 10 betreffen bevorzugte Ausführungsformen des neuen Schubaktors. Die abhängigen Patentansprüche 11 bis 13 betreffen den neuen Schubaktor integrierende Träger.

### **BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG**

**[0009]** Bei dem neuen Schubaktor ist das aktive Flächenmaterial in einen in seiner Hauptstreckungsebene verlaufenden und in dieser Hauptstreckungsebene schubweichen Rahmen angeordnet, wobei die Verformungshaupttrichtung des aktiven Flächenmaterials zu allen Seiten des Rahmens geneigt verläuft, so dass einander gegenüberliegende Seiten des Rahmens bei Ansteuerung des aktiven Flächenmaterials in seiner Verformungshaupttrichtung auf Expansion oder Kontraktion gegeneinander verschoben werden. Typischerweise werden bei dem neuen Schubaktor die einander gegenüberliegenden Seiten beider Paare von einander gegenüberliegenden Seiten des Rahmens gegeneinander verschoben. Genutzt wird bei dem neuen Schubaktor zumindest die Relativverschiebung der beiden Seiten eines der beiden Paare. Diese einander gegenüberliegenden Seiten des Rahmens können dabei unmittelbar die Anschlusselemente des neuen Schubaktors sein oder mit passiven Strukturkomponenten verbunden sein.

**[0010]** Das bei dem neuen Schubaktor verwendete aktive Flächenmaterial kann so konfiguriert sein, dass es in seiner Verformungshaupttrichtung auf Expansion und Kontraktion angesteuert werden kann und in seiner Ebene senkrecht zur Verformungshaupttrichtung gegen-  
teilig reagiert oder gleich bleibt, d.h. bei einer Ansteuer-

ung der Verformungshaupttrichtung auf Expansion senkrecht zur Verformungshaupttrichtung in seiner Ebene kontrahiert oder gleich bleibt, bei einer Ansteuerung der Verformungshaupttrichtung auf Kontraktion, senkrecht zur Verformungshaupttrichtung in seiner Ebene expandiert oder gleich bleibt, das heißt die Verformung durch die senkrecht zu seiner Verformungshaupttrichtung entstehende Reaktion nicht wesentlich behindert sondern wenn möglich unterstützt wird.

**[0011]** Konkret können zwei einander gegenüberliegende Seiten des Rahmens als vergleichsweise steife Anschlusselemente und die beiden anderen einander gegenüberliegenden Seiten des Rahmens als in der Hauptstreckungsebene des Rahmens vergleichsweise biegeeweiche Stützstege oder Stützgurte ausgebildet sein.

**[0012]** Grundsätzlich ist es bevorzugt, wenn der Rahmen zwei Paare von einander gegenüberliegenden und parallel zueinander verlaufenden Seiten aufweist. Diese Seiten sind vorzugsweise ohne Zwischenschaltung weiterer Seiten des Rahmens miteinander verbunden. Insbesondere bevorzugt ist es dabei, dass der Rahmen eine rechteckige Grundform aufweist, aus der heraus er durch Ansteuerung des aktiven Flächenmaterials verformbar ist.

**[0013]** Der Rahmen, in dem das aktive Flächenmaterial angeordnet ist, dient nicht nur zur Umsetzung der Druck- und/oder Zugkräfte des aktiven Flächenmaterials in die gewünschten Schubkräfte, sondern verhindert auch, dass die Kräfte des aktiven Flächenmaterials oder äußere Kräfte auf das aktive Flächenmaterial in andere, ungewollte Verformungen resultieren.

**[0014]** Insbesondere wenn dieser letzte Aspekt bei größeren Rahmen nicht mehr hinreichend gewährleistet werden kann, weil innerhalb des Rahmens die Gefahr des Beulens des in seiner Verformungshaupttrichtung auf Druck und/oder Zug beanspruchten aktiven Flächenmaterials besteht, kann das aktive Flächenmaterial mit innerhalb des Rahmens vorgesehenen Abstützelementen zusätzlich gegen Beulen senkrecht zu seiner Hauptstreckungsebene abgestützt sein. Vorzugsweise stützen diese Abstützelemente das aktive Flächenelement beidseitig, d. h. auf seinen beiden Hauptseiten ab.

**[0015]** Konkret können die Abstützelemente das aktive Flächenelement vollflächig abstützen, d. h. aus einem Bahnen- oder Plattenmaterial bestehen, das parallel zu dem aktiven Flächenmaterial und an diesem anliegend in den Rahmen eingespannt ist. Besonders bevorzugt sind für derartige flächige Abstützelemente Materialien (z.B. Sandwichkernmaterial), die eine starke Verformung in der Ebene zulassen und schubweich sind, jedoch ein Beulen der Struktur nicht zulassen.

**[0016]** Die Abstützelemente können alternativ oder zusätzlich den Rahmen unterteilende Stützstreben umfassen. In der Hauptstreckungsebene des Rahmens sind diese Stützstreben möglichst biegeweich, während sie normal zu der Hauptstreckungsebene des Rahmens beliebig steif sein können.

**[0017]** Sowohl die flächigen Abstützelemente als auch die Stützstreben können sowohl "nur" parallel zu dem aktiven Flächenmaterial angeordnet als auch fest mit diesem verbunden, beispielsweise verklebt sein.

**[0018]** Die Seiten des Rahmens, in dem das aktive Flächenmaterial angeordnet sind, sind notwendigerweise immer fest mit dem aktiven Flächenmaterial verbunden, so dass dieses angesichts seiner ebenen Ausrichtung in dem Rahmen als in den Rahmen eingespannt bezeichnet werden kann, auch wenn es in dem Rahmen nicht notwendigerweise unter Spannung steht.

**[0019]** Es können auch mehrere Lagen des aktiven Flächenmaterials parallel zueinander angeordnet werden, um die aufbringbaren Verformungskräfte zu erhöhen, wobei sich diese mehreren Lagen des aktiven Flächenmaterials direkt oder unter Zwischenordnung weiterer Abstützelemente gegenseitig abstützen können. Mit zunehmender Dicke des aktiven Flächenmaterials verringert sich bei dem neuen Schubaktuator die Beulgefahr des aktiven Flächenmaterials unter Belastung, womit sich zusätzliche Abstützelemente erübrigen können.

**[0020]** Weiterhin ist es möglich, dass mehrere Rahmen desselben oder benachbarter erfindungsgemäßer Schubaktuatoren, in denen das aktive Flächenmaterial angeordnet ist, so nebeneinander angeordnet sind, dass mindestens zwei Seiten von zwei einander benachbarten Rahmen durch dasselbe Bauelement ausgebildet sind. Zwischen verschiedenen Aktuatoren kann dann unterschieden werden, wenn das aktive Flächenmaterial eines von ihnen unabhängig von dem aktiven Flächenmaterial der anderen Aktuatoren angesteuert werden kann.

**[0021]** Darüber hinaus ist das Einbetten eines Sensors für eine Schubüberwachung unmittelbar in das aktive Flächenmaterial (siehe die kommerziellen Produkte der Firma Smart Material GmbH ([www.smart-material.com](http://www.smart-material.com))) oder auch einen das aktive Flächenmaterial und Abstützelemente umfassenden Sandwichaufbau möglich.

**[0022]** In einer besonders bevorzugten konkreten Ausführungsform des neuen Schubaktuators sind zwei einander gegenüberliegende Seiten des Rahmens mit sich längs der Seiten erstreckenden und senkrecht zu der Haupterstreckungsebene des Rahmens ausgerichteten Gurten verbunden, die sich bei der erfindungsgemäßen Ansteuerung des erfindungsgemäßen Schubaktuators gegeneinander verschieben. Wenn die Enden der Gurte an einem Ende dieser Struktur relativ zueinander fixiert sind, so dass dort keine Relativverschiebung der Gurte möglich ist, resultiert hieraus eine Verbiegung des Trägers, der durch die beiden Gurte und den sie verbindenden Schubaktuator ausgebildet wird.

**[0023]** Ein erfindungsgemäßer Träger weist entsprechend einen mindestens einen erfindungsgemäßen Schubaktuator aufweisenden Steg und zwei durch den Steg miteinander verbundenen Gurte auf. Dabei kann ein solcher Träger insbesondere ein Doppel-T-Träger oder ein U-Träger sein.

**[0024]** Die genaue Orientierung der Verformungs-

hauptrichtung des aktiven Flächenmaterials zu den Seiten des Rahmens kann innerhalb des Patentanspruchs 1 grundsätzlich frei gewählt und an die Bedürfnisse des konkreten Anwendungsfalls des neuen Schubaktuators angepasst werden.

**[0025]** Bei einem erfindungsgemäßen neuen Träger kommt ein Ansatz einer aktiven integrierten Strukturkomponente zur Anwendung. Dabei wird eine passive Strukturkomponente durch eine gerichtete aktive Strukturkomponente ersetzt und an Stellen eingebracht, an denen die zu übernehmenden Lasten gleichmäßig verteilt und über definierte Bereiche als nahezu konstant erachtet werden können. Diese Anforderungen sind bei dem Steg eines Trägers, soweit dieser gegenüber den beiderseits angebrachten Gurten als schlank definiert werden kann, in besonders guter Weise erfüllt. Entsprechend lässt sich eine aktive Komponente in die Struktur eines solchen Trägers einbringen und wird dabei von einer nahezu konstant wirkenden Kraft-Spannungsverteilung beaufschlagt. Durch die Einbettung in einem Rahmen wird die aktive Komponente in Form des aktiven Flächenmaterials nicht direkt mit dem Krafteinleitungspunkt der Struktur in Verbindung gebracht, wodurch auftretende Spannungspitzen nicht auf die aktive Komponente übertragen werden. Bei der resultierenden nahezu gleichmäßigen Spannungsverteilung lässt sich die Aktuatorik zielgerichteter auslegen und in die Struktur integrieren. Die mit der aktiven Komponente erzielbare freie Dehnung lässt sich abgesehen von der Ausführung und der resultierenden Steifigkeit des Rahmens nahezu komplett auf die Gesamtstruktur übertragen. Die von der Aktuatorik aufzubringende Verformungsenergie, um die passive Rahmenstruktur zu verformen, ist je nach Größe und Richtung der Verformung nur klein. Durch diese Konfiguration wird der überwiegende Anteil an aktiver Strukturenergie an die zu verschiebende Last weitergegeben.

**[0026]** Bei der Auslegung der Aktuatorik müssen die möglicherweise auftretenden Belastungen bewertet werden. Wird mehr als nur ein flächiger Aktuator, d. h. mehr als eine Lage des aktiven Flächenmaterials mit definierter Dicke benötigt, so lässt der erfindungsgemäße Aufbau mehrere planparallele Lagen des aktiven Flächenmaterials zu. Zu beachten ist dabei immer, dass ein Beulen des aktiven Flächenmaterials auch unter maximaler Belastung möglichst verhindert wird. Hierzu sind die bereits angesprochenen Abstützelemente in der notwendigen Stärke und Dichte vorzusehen.

**[0027]** Das Einspannen des aktiven Flächenmaterials in den Rahmen kann durch Formschluss, so auch durch Einschrauben, Kraftschluss, insbesondere Festklemmen, und Einkleben bewirkt werden. Vorzugsweise ist der Rahmen dabei auf beiden Seiten des aktiven Flächenmaterials vorgesehen.

**[0028]** Durch die Möglichkeit, die Verformungshauptrichtung des aktiven Flächenmaterials relativ zu den Haupterstreckungsrichtungen der bei einem erfindungsgemäßen Träger daran angrenzenden Gurte zu variieren, kann eine Anpassung an die im Einzelfall auftretenden

den Belastungsrichtungen erfolgen. Dabei ist insbesondere die Richtung zu berücksichtigen, in die auf die Gesamtstruktur einwirkenden Querkräfte über die Gurte auf den Steg des erfindungsgemäßen Trägers umgelenkt werden.

**[0029]** Der Rahmen für das aktive Flächenmaterial bei dem erfindungsgemäßen Schubakuator bzw. dem erfindungsgemäßen Träger kann einschließlich der Abstützelemente in Faserverbundtechnologie ausgebildet sein, um die gewünschte Steifigkeitsverteilung mit geringem Aufwand und mit geringem Leistungsgewicht zu erreichen. Der Rahmen kann aber z. B. auch aus Leichtmetallen ausgebildet sein.

**[0030]** Die möglichen Einsatzgebiete für den neuen Schubakuator bzw. den neuen Träger sind mannigfaltig. Sie umfassen die beiden Hauptgruppen, in denen einerseits ein bestimmter Punkt einer Struktur ruhig, d. h. schwingungsfrei und/oder sich unter Last nicht verschiebend, gehalten wird und andererseits ein bestimmter Punkt einer Struktur definiert gegenüber einem bestimmten anderen Punkt der Struktur positioniert. D. h. verschoben wird. Dabei gibt es natürlich auch Anwendungen, die zu beiden Gruppen zu zählen sind. Konkrete Anwendungsfälle sind flexible Tragflächenkonfigurationen bei Fluggeräten, adaptive Getränkehalterungen in Kraftfahrzeugen, Präzisionspositioniereinheiten in von Fertigungsmaschinen, aktive Schwingungsunterdrückung und (mit umgekehrter Zielrichtung) Rüttelmechanismen.

**[0031]** Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibungseinleitung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

#### **KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN**

**[0032]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand konkreter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die

beigefügten Zeichnungen näher erläutert und beschrieben.

- |    |                |  |
|----|----------------|--|
| 5  | <b>Fig. 1</b>  | zeigt ein Querschnittsprofil eines Doppel-T-Trägers.   |
| 10 | <b>Fig. 2</b>  | zeigt ein Querschnittsprofil eines U-Trägers.  |
| 15 | <b>Fig. 3</b>  | zeigt eine Seitenansicht eines Trägers, in dessen Steg ein aktives Flächenmaterial integriert ist.   |
| 20 | <b>Fig. 4</b>  | ist eine Explosionszeichnung eines das aktive Flächenmaterial bei der Integration gemäß Fig. 3 aufnehmenden Rahmens.   |
| 25 | <b>Fig. 5</b>  | zeigt das in den zusammen gebauten Rahmen gemäß Fig. 4 eingespannte aktive Flächenmaterial.  |
| 30 | <b>Fig. 6</b>  | ist eine Explosionszeichnung einer alternativen Ausführungsform des Rahmens gemäß Fig. 4.  |
| 35 | <b>Fig. 7</b>  | zeigt das in den zusammen gebauten Rahmen gemäß Fig. 6 eingespannte aktive Flächenmaterial.  |
| 40 | <b>Fig. 8</b>  | stellt das Wirkprinzip des aktiven Flächenmaterials mit diagonal über seine Haupterstreckungsebene verlaufender Verformungshauptrichtung unter Querlastbeaufschlagung dar, bei der es sich um die aktive Wirkrichtungen des erfindungsgemäßen Schubaktors handelt. |
| 45 | <b>Fig. 9</b>  | ist eine Explosionszeichnung eines auf dem aktiven Flächenmaterial aufbauenden Schubaktors.  |
| 50 | <b>Fig. 10</b> | ist eine Explosionszeichnung eines Schubaktors mit zwei Lagen des aktiven Flächenmaterials.  |
| 55 | <b>Fig. 11</b> | ist eine Explosionszeichnung einer weiteren Ausführungsform des Schubaktors mit zwei Lagen des aktiven Flächenmaterials.   |
|    | <b>Fig. 12</b> | ist eine Explosionszeichnung noch einer weiteren Ausführungsform des Schubaktors mit zwei Lagen des aktiven Flächenmaterials.  |
|    | <b>Fig. 13</b> | ist eine Explosionszeichnung eines   |

Schubaktuators mit drei Lagen des aktiven Flächenmaterials.

**Fig. 14** zeigt einen zusammengebauten Schubaktor gemäß Fig. 13 mit zwei Lagen des aktiven Flächenmaterials.

**Fig. 15** zeigt ein Element eines Schubaktors mit einem in einen Rahmen eingespannten aktiven Flächenelement; und die

**Fig. 16 und 17** zeigen Aufbauten aus mehreren Elementen gemäß Fig. 15.

## FIGURENBESCHREIBUNG

**[0033]** Das bei der vorliegenden Erfindung eingesetzte Flächenmaterial ist kommerziell von der Firma Smart Material GmbH ([www.smart-material.com](http://www.smart-material.com)) als "d33 Actuator with Twisting Motion (F1)" in verschiedenen Ausführungsformen erhältlich. Die vorliegende Erfindung ist aber nicht an die Verwendung genau dieses auf einem d33-Effekt piezoelektrischer Fasern basierenden aktiven Flächenmaterials gebunden. Insbesondere bezüglich der Richtung, d. h. des Winkels des Verlaufs der einzelnen piezo-keramischen Fasern zu den Kanten des aktiven Flächenmaterials kann es interessant sein, von den kommerziell verfügbaren Standardprodukten abzuweichen.

**[0034]** **Fig. 1** zeigt einen Querschnitt durch einen Doppel-T-Träger 100. Der Doppel-T-Träger 100 weist einen Obergurt 1 und einen Untergurt 2 auf, die durch einen Steg 3 miteinander verbunden sind. Alle Teile 1 bis 3 des Doppel-T-Trägers 100 weisen jeweils eine im Wesentlichen zweidimensionale Erstreckung auf, die einmal in der Querschnittsebene gemäß Fig. 1, d. h. deren Zeichenebene und einmal senkrecht dazu verläuft. Zwischen den Teilen 1 bis 3 des Doppel-T-Trägers sind dabei Festkörperverbindungen vorgesehen, d. h. die Verbindungen zwischen den Teilen 1 bis 3 sind nicht weniger steif als die Teile 1 bis 3 selbst.

**[0035]** **Fig. 2** zeigt einen Querschnitt durch einen U-Träger 200. Auch bei diesem sind ein Obergurt 1 und ein Untergurt 2 durch einen Steg 3 miteinander verbunden. Während jedoch bei dem Doppel-T-Träger 100 gemäß Fig. 1 der Steg 3 mittig an den Obergurt 1 und den Untergurt 2 angesetzt ist, liegen diese Ansatzpunkte bei dem U-Träger gemäß **Fig. 2** an einander entsprechenden seitlichen Enden des Obergurts 1 und des Untergurts 2. Ansonsten treffen alle Angaben zu dem Doppel-T-Träger 100 gemäß Fig. 1 auch auf den U-Träger 200 gemäß Fig. 2 zu.

**[0036]** Der bei herkömmlichen Doppel-T-Trägern 100 gemäß Fig. 1 und U-Trägern 200 gemäß Fig. 2 rein passive Steg 3 ist bei einem erfindungsgemäßen Träger durch einen Steg 3 ersetzt, der ganz oder teilweise aktiv,

d. h. auf Formveränderungen ansteuerbar ist. Ein Beispiel für einen solchen aktiven Steg zeigt Fig. 3 in einer Seitenansicht auf den Doppel-T-Träger 100 gemäß Fig. 2, wobei der U-Träger gemäß Fig. 2 in einer entsprechenden Seitenansicht genauso aussehen könnte. Wie auch bei bestimmten passiven Trägern sind Stegbegrenzungen 55 vorgesehen, um den Steg 3 in mehrere Stegfelder 30 zu unterteilen. Dies ist bei Leichtbaustrukturen notwendig, um die Gefahr eines Beulens des Stegs zu verringern. Bei dem dargestellten aktiven Steg 3 ist jedes Stegfeld 30 als Rahmen 8 ausgeführt, in den ein aktives Flächenmaterial 4 eingespannt ist. Die Rahmen 8 sind an den Stegbegrenzungen 55 bzw. über den Obergurt 1 und den Untergurt 2 miteinander verbunden. Die Stegbegrenzungen 55 sind als Stützstege 5 ausgebildet, die den Obergurt 1 und den Untergurt 2 auf Abstand halten, aber selbst und/oder bezüglich der Anbindung an den Obergurt 1 und den Untergurt 2 in der Haupterstreckungsebene des Stegs 3 biegeweich sind. Senkrecht zu dieser Haupterstreckungsebene des Stegs 3 können die Stützstege 5 hingegen beliebig steif sein. Beide Maßnahmen wirken einem Beulen des Stegs 3 einschließlich des aktiven Flächenmaterials entgegen. Das in die Rahmen 8 eingespannte aktive Flächenmaterial 4 weist eine diagonal verlaufende, d. h. zu allen Seiten der Rahmen 8 unter einem Winkel ausgerichtete Verformungshaupttrichtung auf, was durch eine Diagonalschraffur im Bereich des aktiven Flächenmaterials 4 angedeutet ist. Durch Ansteuerung des aktiven Flächenmaterials 4 auf eine Längenänderung in seiner Verformungshaupttrichtung wird eine Schubkraft zwischen dem Obergurt 1 und dem Untergurt 2 ausgeübt. Diese führt bei einseitiger Einspannung des Obergurts 1 und des Untergurts 2 zu einer aktiven Verbiegung des Doppel-T-Trägers 100 in der Zeichenebene nach oben oder nach unten, wobei die Amplitude der Auslenkung von der Anzahl der Rahmen 8 abhängig ist. Die Schubkraft zwischen dem Obergurt 1 und dem Untergurt 2 führt zu einer Parallelverschiebung des Obergurts 1 und des Untergurts 2 in entgegen gesetzter Richtung, welche zu dem Auslenken der Doppel-T-Trägers 100 bzw. U-Trägers 200 führt. Die Schubkraft kann alternativ zum Geradhalten des Doppel-T-Trägers 100 bei auftretenden äußeren Lasten oder zur aktiven Schwingungsdämpfung des Doppel-T-Trägers 100 genutzt werden.

**[0037]** **Fig. 4** zeigt einen einzelnen Rahmen 8 zusammen mit dem zugehörigen aktiven Flächenmaterial 4 in einer Explosionszeichnung. Der Rahmen 8 besteht aus zwei Halbschalen 6 und 7, die unter Zwischenordnung des Rands des aktiven Flächenmaterials 4 miteinander verklebt werden. Der Rahmen 8 bildet die Stützstege 5 aus, und er kann auch unmittelbar den Obergurt 1 und den Untergurt 2 ausbilden. Gezeigt ist hier jedoch, dass der Rahmen Anschlusselemente 101 und 102 zum Anschluss des Rahmens 8 an den Obergurt 1 und den Untergurt 2 ausbildet. Der zusammengebaute Rahmen 8 gemäß Fig. 4 ist in Fig. 5 gezeigt.

**[0038]** **Fig. 6** zeigt eine Explosionszeichnung einer al-

alternativen Ausführungsform des Rahmens 8, bei der der Rahmen 8 zusätzliche Stützstreben 9 aufweist, die den Rahmen 8 einerseits parallel zu den Stützstegen 5 und andererseits parallel zu den Anschlusselementen 101 und 102, d. h. den hier nicht dargestellten Gurten 1 und 2, unterteilen. Die Stützstreben 9 sorgen faktisch für eine Verkleinerung der Abmessungen des Rahmens 8 und damit für eine bessere Abstützung des aktiven Flächenmaterials 4, um dieses in der Haupterstreckungsebene des Rahmens 8 zu halten. Hiermit wird insbesondere ein Beulen, d. h. eine Auslenkung des aktiven Flächenmaterials 4 senkrecht zu der Haupterstreckungsebene des Rahmens 8, bei Ansteuerung des aktiven Flächenmaterials 4 auf eine Längenänderung in seiner Verformungshaupttrichtung oder aufgrund externer Lasten verhindert. Ein derartiges Beulen oder Ausknicken resultiert in einer undefinierten Relativbeziehung zwischen der Ansteuerung des aktiven Flächenmaterials 4 und dem zwischen den Anschlusselementen 101 und 102 aufgeführten Schub bzw. der hieraus resultierenden Parallelverschiebung. Die Stützstreben 9 sind vorzugsweise wie die Anschlusselemente 101 und 102 sowie die Stützstege 5 fest mit dem aktiven Flächenmaterial 4 verklebt. Die parallel zu den Stützstegen 5 verlaufenden Stützstreben 9 weisen vorzugsweise deren bevorzugte Eigenschaften auf. Entsprechend weisen die parallel zu den Anschlusselementen 101 und 102 und den hier nicht dargestellten Gurten 1 und 2 verlaufenden Stützstreben 9 vorzugsweise deren bevorzugte Eigenschaften auf. Die eingebrachten Stützstreben 9 sind in ihren Abmessungen so auszulegen, dass sie ein Beulen des aktiven Flächenmaterials 4 verhindern. Zur Vereinfachung können sie die gleichen Eigenschaften und Abmessungen aufweisen wie die Anschlusselemente 101 und 102 bzw. die hier nicht dargestellten Gurte 1 und 2 sowie die seitlichen Stützstege 5. **Fig. 7** zeigt den zusammengebauten Rahmen 8 gemäß **Fig. 6** mit dem darin eingespannten Flächenmaterial 4.

**[0039]** **Fig. 8** zeigt einen Abschnitt des aktiven Flächenmaterials 4 bei unterschiedlichen Schubbelastungen (a bis c). Dabei ist die diagonal zu den Kanten des Abschnitts verlaufende Verformungshaupttrichtung des aktiven Flächenmaterials 4 wieder durch eine Diagonalschraffur angedeutet. Bei einer Aktivierung des aktiven Flächenmaterials 4 in seiner Verformungshaupttrichtung auf eine Expansion, d. h. auf Verlängerung oder auf Druck hin ergibt sich gegenüber der rechteckigen, nicht angesteuerten oder belasteten Ausgangsform gemäß **Fig. 8a**) die in **Fig. 8b**) gezeigte Schubverformung, bei der sich die rechte Seite des aktiven Flächenmaterials 4 gegenüber seiner linken Seite in Richtung eines Pfeils 120 verschiebt. Aus einer Aktivierung des aktiven Flächenmaterials 4 in seiner Verformungshaupttrichtung auf eine Kontraktion, d. h. auf Verkürzung oder Zug hin resultiert hingegen die Schubverformung gemäß **Fig. 8c**), in der sich die rechte Seite in Richtung eines zu dem Pfeiler 120 entgegengesetzten Pfeils 130 gegenüber der linken Seite bewegt. Bei einer passiven Verformung des

aktiven Flächenmaterials in Richtung der Pfeile 120 und 130 treten entsprechende Zug- bzw. Druckbelastungen im Bereich des aktiven Flächenmaterials 4 als reactio auf. Diese Belastungen sind, wenn das aktive Flächenmaterial 4 in dem Steg eines Trägers mit Obergurt und Untergurt eingesetzt wird, über die Fläche des Stegs bzw. des aktiven Flächenelements nahezu homogen verteilt, woraus eine Gleichbeanspruchung des gesamten aktiven Materials 4 resultiert. Dies stellt einen Idealfall für den Einsatz aktiver Materialien dar.

**[0040]** Neben seiner Verwendung als Schubaktuator im Bereich des Stegs eines Trägers mit Steg und Obergurt und Untergurt kann das in einen Rahmen 8 eingespannte aktive Flächenmaterial 4 auch als isolierter Schubaktuator 300 Verwendung finden. **Fig. 9** zeigt eine Explosionszeichnung eines derartigen Schubaktuator 300, dessen integrierter Rahmen 8 dem Rahmen 8 gemäß den voranstehenden **Fig. 6** und **7** entspricht. Der Rahmen 8 wird durch die hier seitlich liegenden Anschlusselemente 101 und 102 und durch diese miteinander verbindende Stützgurte 50 ausgebildet. In dem Rahmen sind parallel zu den Anschlusselementen und den Stützgurten verlaufende Stützstreben 9 zur Abstützung des aktiven Flächenmaterials 4 vorgesehen. Die Anschlusselemente 101 und 102 sind im Bereich beider Halbschalen 6 und 7 des Rahmens 8 mit Befestigungsbohrungen 14 versehen. Weitere Bohrungen 16 in den Anschlusselementen 101 und 102 dienen zur Kontaktierung von Anschlusskontakten 11 von Elektrodenanordnungen des aktiven Flächenmaterials 4 und können nach erfolgter Kontaktierung mit elektrisch isolierendem Material vergossen werden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Halbschalen 6 und 7 des Rahmens 8 aus einem elektrisch leitfähigen Material bestehen. An den Stützstegen 8 und den Abstützelementen 9 vorgesehene Absätze 17 vergrößern die Kontaktfläche zu dem aktiven Flächenmaterial 4, das in allen Kontaktbereichen mit dem Rahmen 8 verklebt ist und dabei in einer Tasche 18 des Rahmens 8 angeordnet ist. Die piezokeramischen Fasern des aktiven Flächenmaterials 4 können in eine Matrix 19 eingebettet sein, die sich über den eigentlichen aktiven Bereich des aktiven Flächenmaterials 4 hinaus erstreckt und dort durch Form- oder Kraftschluss wie z.B. Einklemmen oder Einkleben in den Rahmen montiert ist.

**[0041]** Der Schubaktuator 300 gemäß **Fig. 10** weist nicht nur einen Abschnitt des aktiven Flächenmaterials 4 wie der Schubaktuator gemäß **Fig. 9** sondern zwei planparallel zueinander angeordnete Abschnitte des aktiven Flächenmaterials 4 und ein dazwischen angeordnetes Zwischenelement 140 des Rahmens 8 auf, das beim Zusammenbau des Schubaktuator 300 mit beiden Abschnitten des aktiven Flächenmaterials 4 verklebt wird. Dieses Zwischenelement 140 weist zusätzliche Stützgurte 150 auf, die ebenfalls mit den Abschnitten des aktiven Flächenmaterials 4 bzw. dessen Matrix 19 verklebt sein können. Die Stützgurte 150 dienen dazu, das aus einer Verschiebung der Anschlusselemente 101 und 102 gegeneinander resultierende Biegemoment unterstüt-

zend zu den Stützgurten 50 und den parallel dazu verlaufenden Stützstreben 9 abzustützen. Alle Hohlräume 160 im Bereich des Zwischenelements 140 des Rahmens 8 können, sofern es die Belastung erfordert, bei dem fertigen Schubaktuator 300 mit einem Sandwichmaterial oder einem in den Fig. 11 bis 13 separat dargestellten anderen flächigen oder mit äquivalenten Innenstrukturmusterungen 162 versehenen Füllelement 161 ausgefüllt sein.

**[0042]** Der Schubaktuator 300 gemäß **Fig. 11** unterscheidet sich von demjenigen gemäß **Fig. 10** durch Weglassen der Stützstreben 9 bei den Halbschalen 6 und 7 und dem Zwischenelement 140 des Rahmens 8. Auch hierbei können die Hohlräume 160 im Bereich des Zwischenelements 140 bei dem montierten Schubaktuator mit Sandwichmaterial aufgefüllt sein, um zumindest ein Abstützelement für das seitliche Abstützen des aktiven Flächenmaterials bereitzustellen und Beulen zu vermeiden.

**[0043]** Bei dem Schubaktuator 300 gemäß **Fig. 12** ist das Zwischenelement 140 des Rahmens 8 abweichend von **Fig. 10** nicht skelettiert, sondern als flächiges und zu dessen Abstützung flächig mit dem aktiven Flächenmaterial 4 verklebtes CFK-Bauteil ausgebildet, das innerhalb eines Zwischenrahmens 144 eine weiche Innenstruktur 145 aufweist. Dabei fällt der Zwischenrahmen 144 im Wesentlichen mit den Anschlusselementen 101 und 102 sowie den Stützstreben 5 der Halbschalen 6 und 7 zusammen, während die weiche Innenstruktur 145 in dem freien Querschnittsbereich des Rahmens 8 (und dort zum Teil unterhalb der Abstützelemente 9) liegt. Die Innenstruktur 145 dient dabei zum Dickenausgleich bezüglich des Zwischenrahmens 140. Die weiche Innenstruktur 145 kann flächig ausgeführt sein, aber auch eine Innenstrukturmusterung 162 aufweisen, die die passive Klebeschichtfläche verringert und neben dem Dickenausgleich auch die Beulgefahr der aktiven Flächenmaterialien minimiert. Die Innenstrukturmusterung 162 kann wie dargestellt ein Lochmuster oder auch eckige Strukturen zur Reduzierung der passiven Klebefläche aufweisen. Die Innenstrukturmusterung 162 kann gleichmäßig verteilt oder versetzt angeordnet sein. Sollte die Gesamtdicke aus aktivem Flächenmaterial 4 und dem Zwischenrahmen 144 mit weicher Innenstruktur 145 ausreichend sein, so können die Abstützelemente 9 entfallen. Die Gesamtdicke ermittelt sich aus der Anzahl der verwendeten und für die Lastübertragung und Lastübergängen notwendigen Zwischenrahmen 144 sowie der weichen Innenstruktur 145. Bei dem Schubaktuator 300 gemäß **Fig. 12** können auch die Halteschalen 6 und 7 in CFK-Technik ausgebildet sein. Grundsätzlich können für den Rahmen 8 aber verschiedenste Materialien Verwendung finden.

**[0044]** **Fig. 13** skizziert einen Schubaktuator 300 mit drei parallel zueinander angeordneten Abschnitten des aktiven Flächenmaterials 4, wobei der Rahmen 8 neben den äußeren Halbschalen 6 und 7 zwei Zwischenele-

mente 140 aufweist. Auch hier kann die Anzahl der Lagen des aktiven Flächenmaterials 4 und der Zwischenelemente 140 mit deren gegen Beulen mit Füllelementen 161 aus Sandwichmaterial oder anderen ungemusterten oder gemusterten Materialien ausgefüllten Hohlräumen 160 variiert werden. Das die Hohlräume füllende Material muss nicht den gesamten Innenraum flächig einnehmen, sondern kann wiederum eine Innenstrukturmusterung 162 aufweisen, die so ausgelegt ist, dass das belastete aktive Flächenmaterial 4 nicht beult. Ziel ist es, die flächige Klebefläche zwischen dem aktiven Flächenmaterial 4 und dem das Beulen verhindernden Füllelement 161 so klein wie möglich zu halten, um die aufzubringenden Energien zum Verformen eben dieser passiven Klebefläche und des Füllelements 161 so gering wie möglich zu halten. Hierzu kann ein Lochmuster wie bei der Innenstrukturmusterung 162 dargestellt verwendet werden oder auch anderweitige Innenstrukturmusterungen mit eckigen Aussparungen. Die Innenstrukturmusterung 162 kann gleichmäßig verteilt sein oder versetzt angeordnet sein.

**[0045]** In **Fig. 14** ist ein gleichartiger paketförmiger Schubaktuator 300 in zusammengebautem Zustand gezeigt. Das Zwischenelement 140 sowie die Halbschalen 6 und 7 des Rahmens 8 können wie bereits zu **Fig. 12** ausgeführt in Faserverbundtechnologie oder aus anderen Werkstoffen gefertigt sein. Die Stützgurte sind über in der Haupterstreckungsebene des Rahmens 8 biege- weiche Festkörpergelenke 10 an die Anschlusselemente 101 und 102 angebunden.

**[0046]** **Fig. 15** zeigt einen Schubaktuator 300, der denjenigen gemäß den **Fig. 13** und **14** im Wesentlichen entspricht, außer dass die Anschlusselemente 101 und 102 hier weniger massiv ausgebildet sind und beispielsweise keine Befestigungslöcher 14 aufweisen. So sind wieder die Anschlusselemente 101 und 102 als Gurte ausgelegt bzw. zum Anschluss an solche Gurte vorgesehen; und in dieser Form kann der Schubaktuator 300 in einem Balken 100 oder 200 gemäß den **Fig. 1** bis **3** integriert werden. Dabei sind mit Hilfe von Stützstreben 9, die parallel zu den Stützstegen 5 verlaufen, Randbereiche 40 des aktiven Flächenmaterials 4 abgetrennt, um dessen Anschlusskontakte 11 offen zu lassen. Diese Konfiguration der Schubaktoren 300 basiert auf den derzeit erhältlichen aktiven Flächenmaterialien 4. Sind andere aktive Flächenmaterialien mit anderer Konfigurationen erhältlich, können beispielsweise die Nebenbereiche 40, die hauptsächlich notwendig sind, um die derzeitigen Anschlusskontakte 11 offen zu lassen, entfallen. Bei einer speziell angefertigten Konfiguration kann das aktive Flächenmaterial 4 auch die gesamte Höhe und Breite des Rahmens 8 einnehmen oder sich auch über mehrere Rahmen 8 hinweg erstrecken. In dieser Form können die einzelnen Schubaktoren 300 zu einem Schubaktuator mit mehreren Feldern zusammengefasst werden, wie die Konfiguration in **Fig. 3** zeigt, und zur Ausbildung des Stegs 3 eins Doppel-T-Trägers 100 oder eines U-Trägers 200 verwendet werden.



[0047] Die Fig. 16 und 17 zeigen zwei verschiedene Anordnungen von mehreren Schubaktuatoren 300 gemäß Fig. 15 nebeneinander, die z. B. als aktiver Steg 3 bei einem Balken gemäß den Fig. 1 bis 3 Verwendung finden können.

## BEZUGSZEICHENLISTE

[0048]

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| 1   | Obergurt                |
| 2   | Untergurt               |
| 3   | Steg                    |
| 4   | aktives Flächenmaterial |
| 5   | Stützsteg               |
| 6   | Halbschale              |
| 7   | Halbschale              |
| 8   | Rahmen                  |
| 9   | Stützstrebe             |
| 10  | Festkörpergelenk        |
| 11  | Anschlusskontakt        |
| 14  | Befestigungsloch        |
| 16  | Bohrung                 |
| 17  | Absatz                  |
| 18  | Tasche                  |
| 19  | Matrix                  |
| 30  | Stegfeld                |
| 40  | Nebenbereich            |
| 50  | Stützgurt               |
| 55  | Stegbegrenzung          |
| 100 | Doppel-T-Träger         |
| 101 | Anschlusselement        |
| 102 | Anschlusselement        |
| 120 | Pfeil                   |
| 130 | Pfeil                   |
| 140 | Zwischenelement         |
| 144 | Zwischenrahmen          |
| 145 | weiche Innenstruktur    |
| 150 | Stützgurt               |
| 160 | Hohlraum                |
| 161 | Füllelement             |
| 162 | Innenstrukturmusterung  |
| 200 | U-Träger                |
| 300 | Schubakuator            |

## Patentansprüche

1. Schubakuator mit einem aktiven Flächenmaterial, das in einer in seiner Haupterstreckungsebene verlaufenden Verformungshaupttrichtung auf Expansion und/oder Kontraktion ansteuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aktive Flächenmaterial (4) in einem in seiner Haupterstreckungsebene verlaufenden und in dieser Haupterstreckungsebene geschlossenen, aber schubweichen Rahmen (8) angeordnet ist, wobei alle Seiten des Rahmens (8) fest mit dem aktiven Flächenmaterial (4) verbunden sind

und wobei die Verformungshaupttrichtung des ansteuerbaren aktiven Flächenmaterials (4) zu allen Seiten des Rahmens (8) geneigt verläuft, so dass einander gegenüberliegende Seiten des Rahmens (8) bei Ansteuerung des aktiven Flächenmaterials (4) in seiner Verformungshaupttrichtung auf Expansion oder Kontraktion gegeneinander verschoben werden.

2. Schubakuator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei einander gegenüberliegende Seiten des Rahmens (8) als Anschlusselemente (101) und (102) und die beiden anderen einander gegenüberliegenden Seiten des Rahmens (8) als in der Haupterstreckungsebene des Rahmens (8) biegegewiche Stützstege (5) oder Stützgurte (50) ausgebildet sind.

3. Schubakuator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rahmen (8) zwei Paare von einander gegenüberliegenden und parallel zueinander verlaufenden Seiten aufweist.

4. Schubakuator nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rahmen (8) eine rechteckige Grundform aufweist.

5. Schubakuator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aktive Flächenmaterial (4) mit innerhalb des Rahmens (8) vorgesehenen Abstützelementen gegen Beulen senkrecht zu seiner Haupterstreckungsebene abgestützt ist.

6. Schubakuator nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstützelemente (9) das aktive Flächenmaterial (4) beidseitig abstützen.

7. Schubakuator nach einem der Ansprüche 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstützelemente das aktive Flächenmaterial (4) vollflächig abstützen.

8. Schubakuator nach einem der Ansprüche 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstützelemente den Rahmen (8) unterteilende Stützstreben (9) aufweisen.

9. Schubakuator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei einander gegenüberliegende Seiten des Rahmens (8) mit sich längs dieser Seiten erstreckenden und senkrecht zu der Haupterstreckungsebene des Rahmens (8) ausgerichteten Gurten (1 und 2) verbunden sind.

10. Schubakuator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Rahmen (8), in denen das aktive Flächenmaterial (4) ange-

ordnet ist, so nebeneinander angeordnet sind, dass mindestens zwei Seiten von zwei einander benachbarten Rahmen durch dasselbe Bauelement (5, 50) ausgebildet sind.

5

- 11.** Träger mit einem mindestens einen Schubaktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 10 aufweisenden Steg (2) und zwei durch den Steg (3) verbundenen Gurten (1 und 2).

10

- 12.** Doppel-T-Träger nach Anspruch 11.

- 13.** U-Träger nach Anspruch 11.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

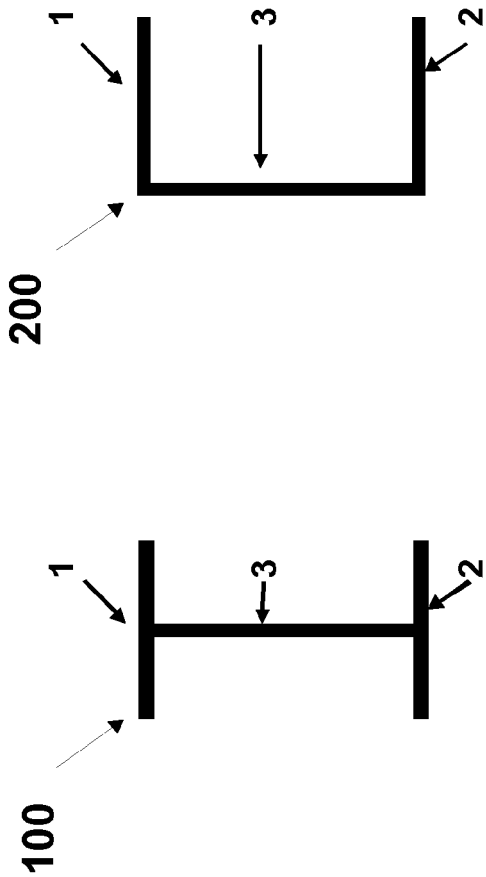


Fig. 1

Fig. 2

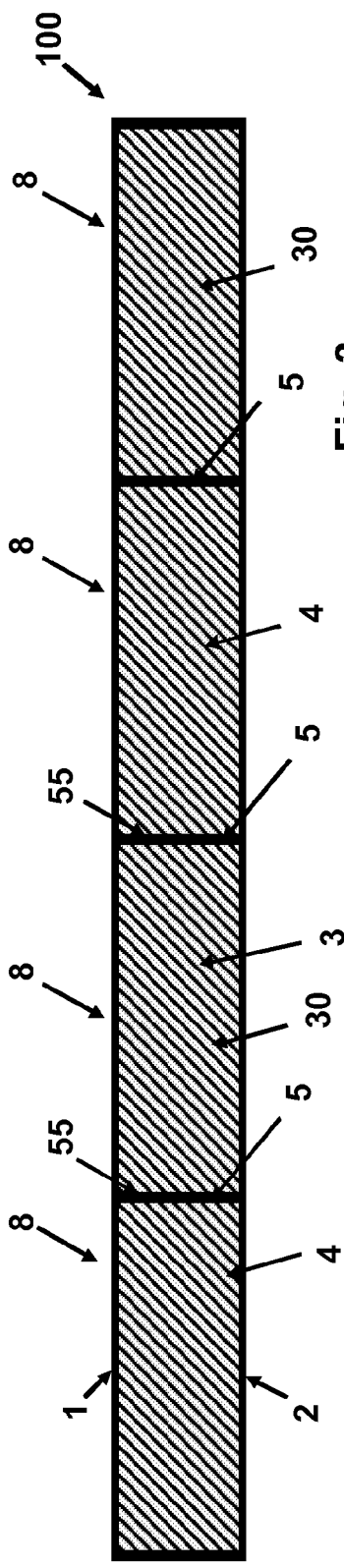


Fig. 3

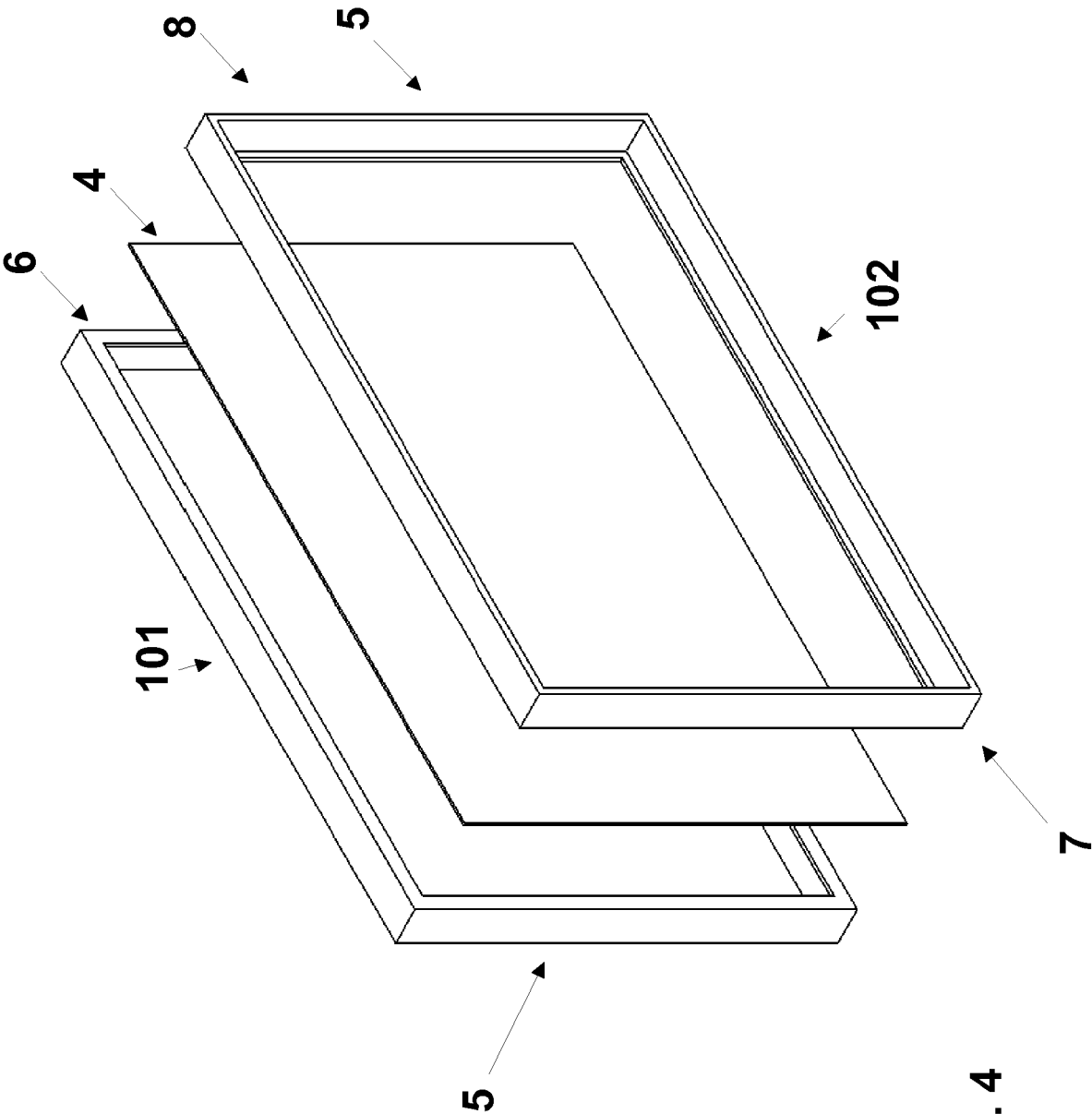


Fig. 4

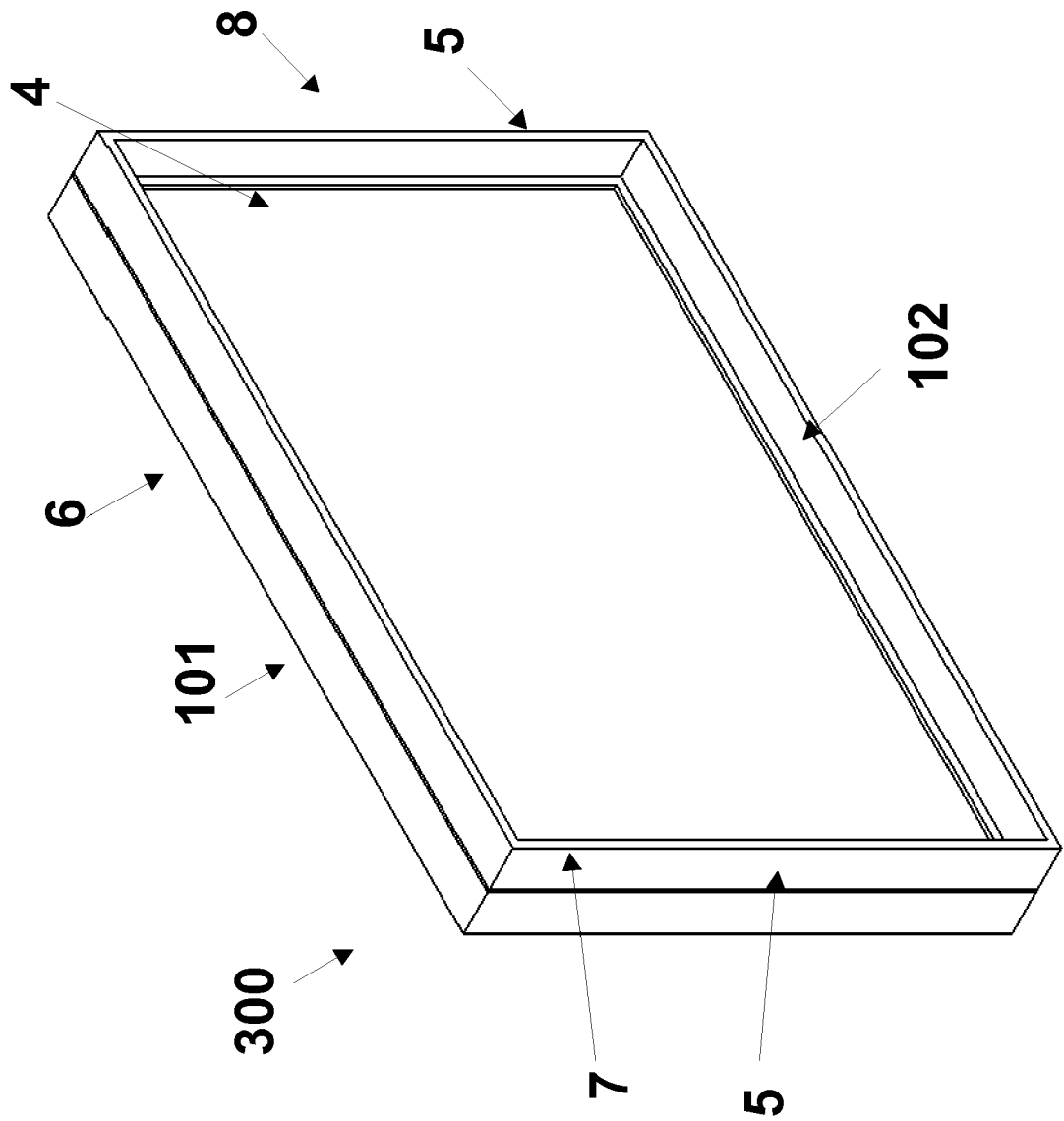


Fig. 5

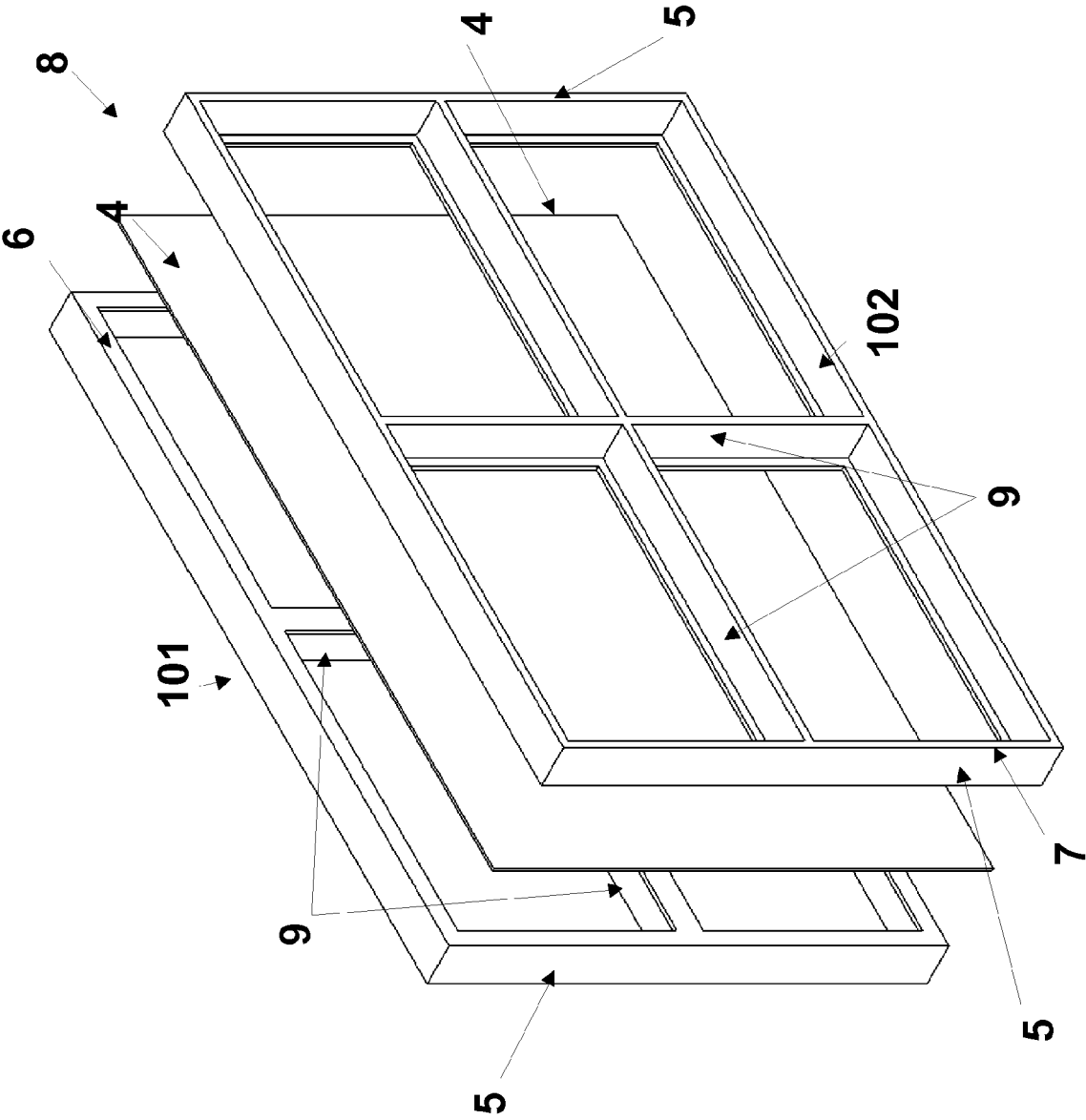


Fig. 6

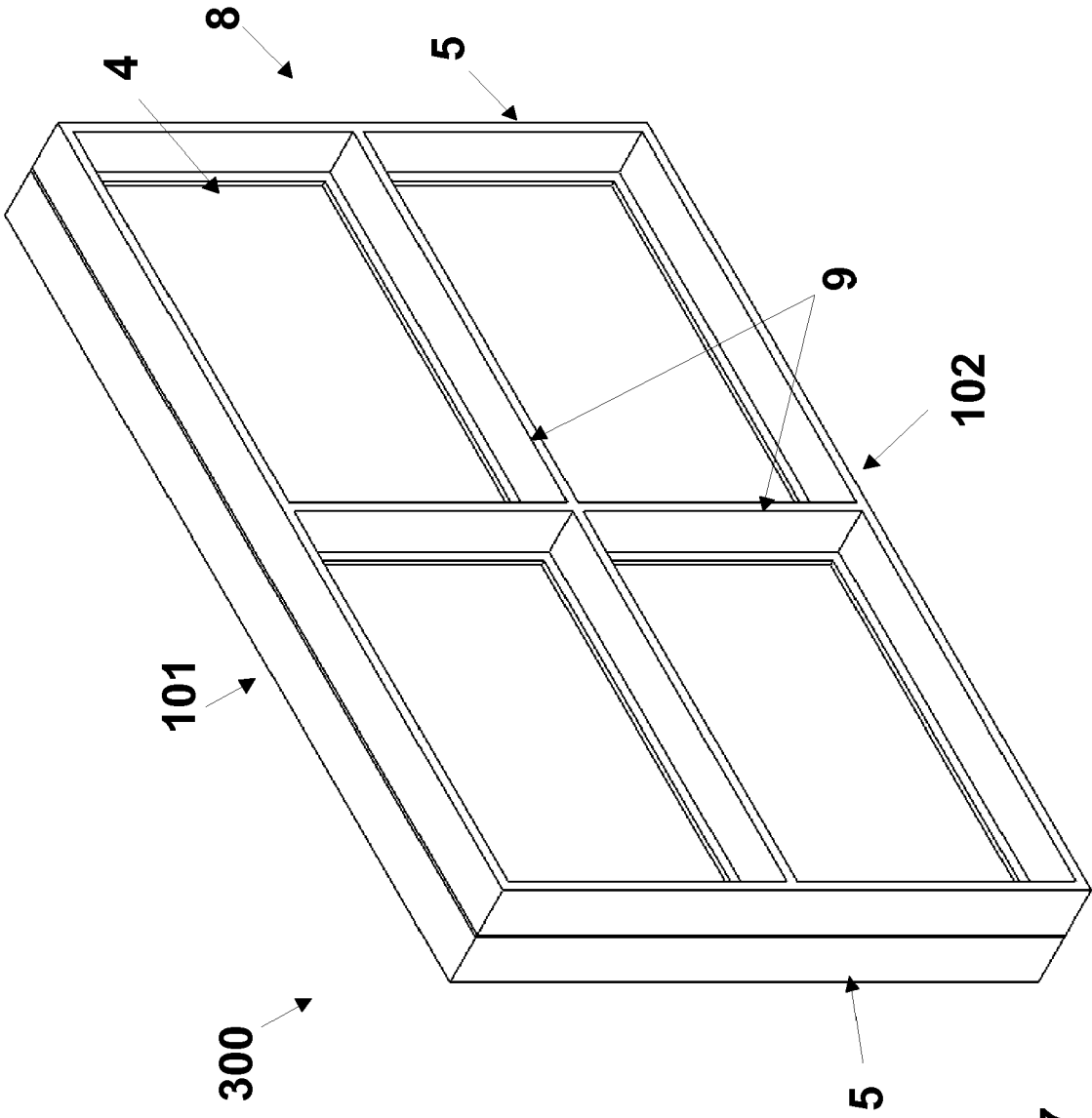


Fig. 7

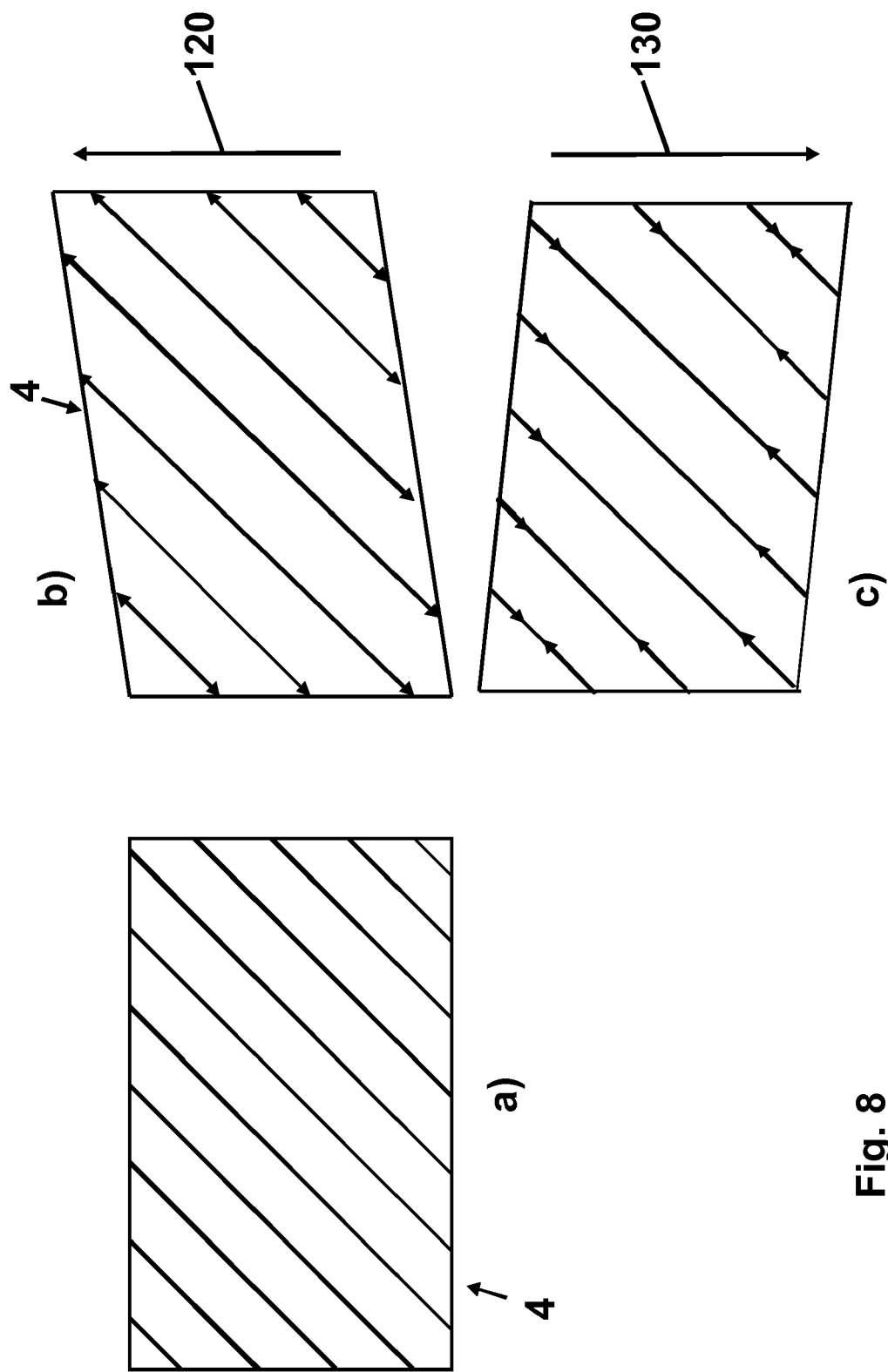


Fig. 8



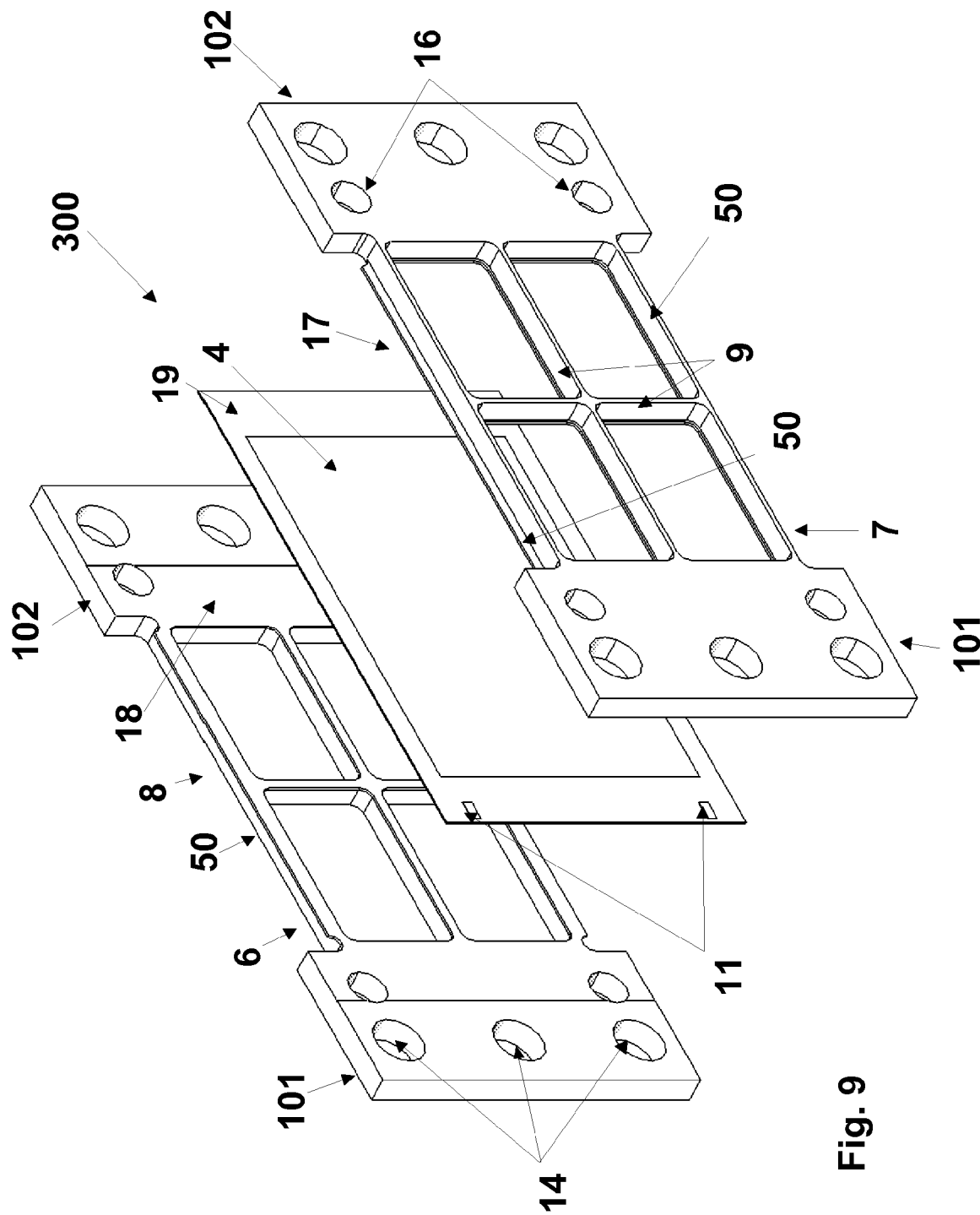


Fig. 9

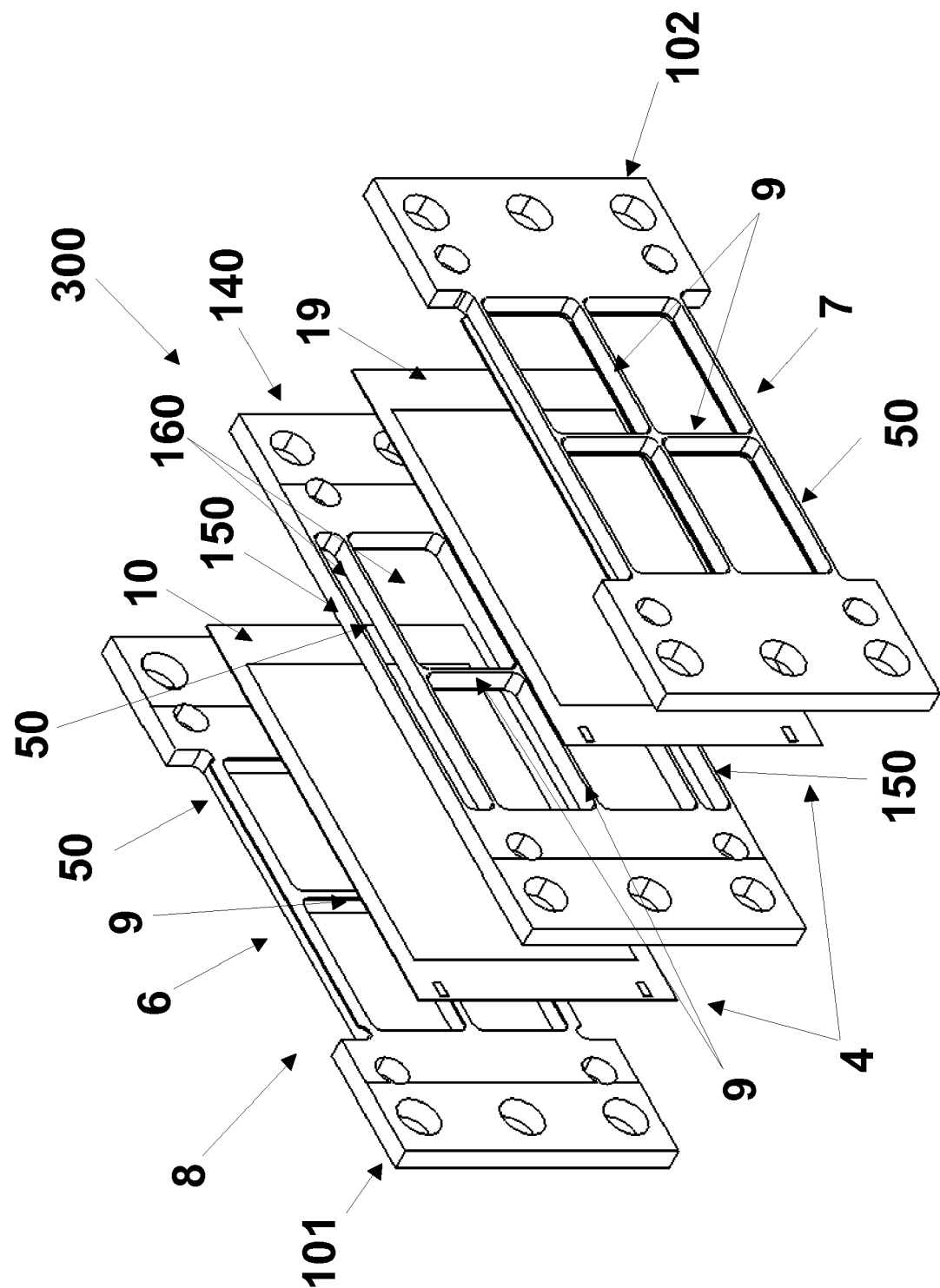


Fig. 10

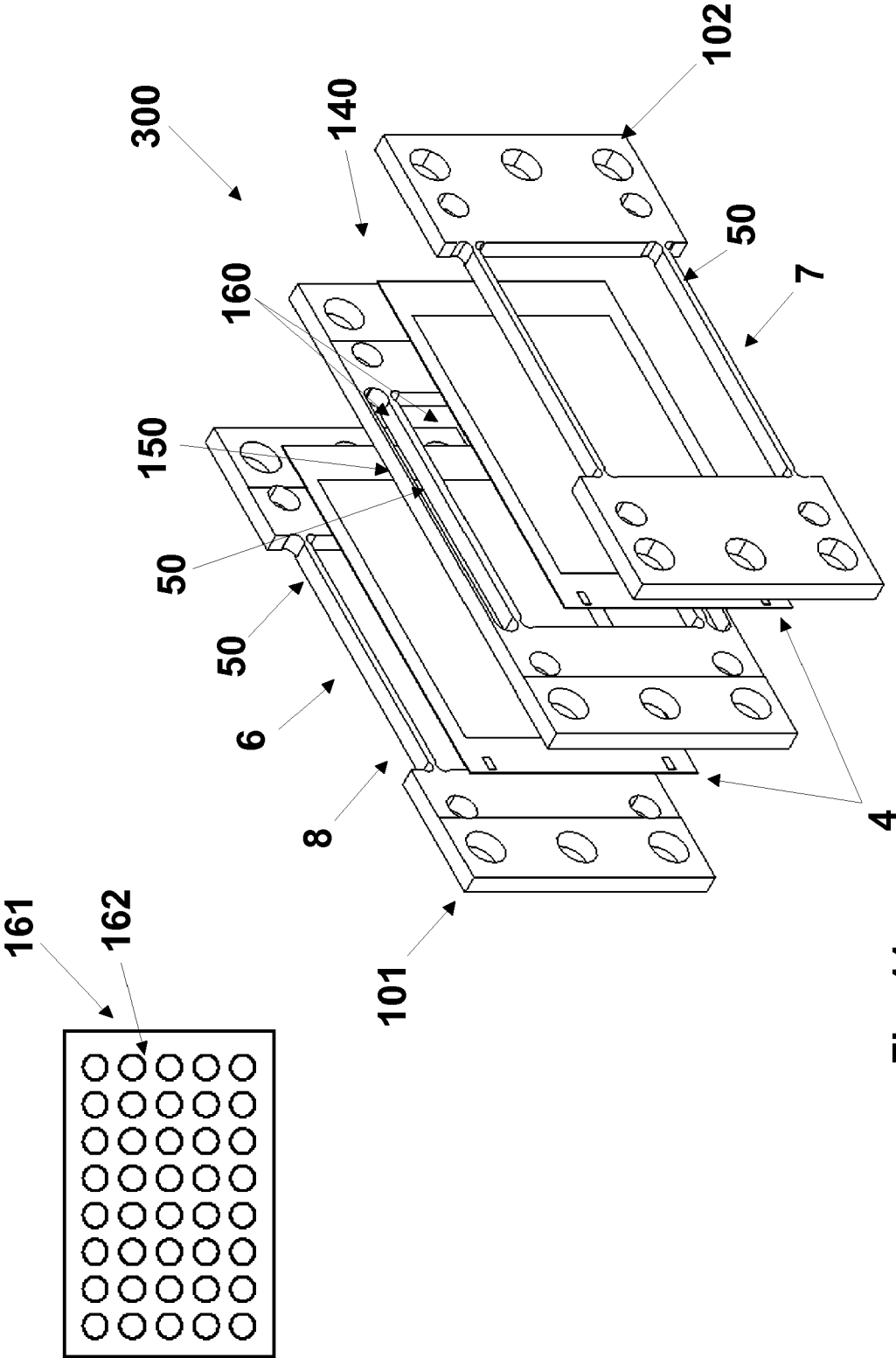


Fig. 11

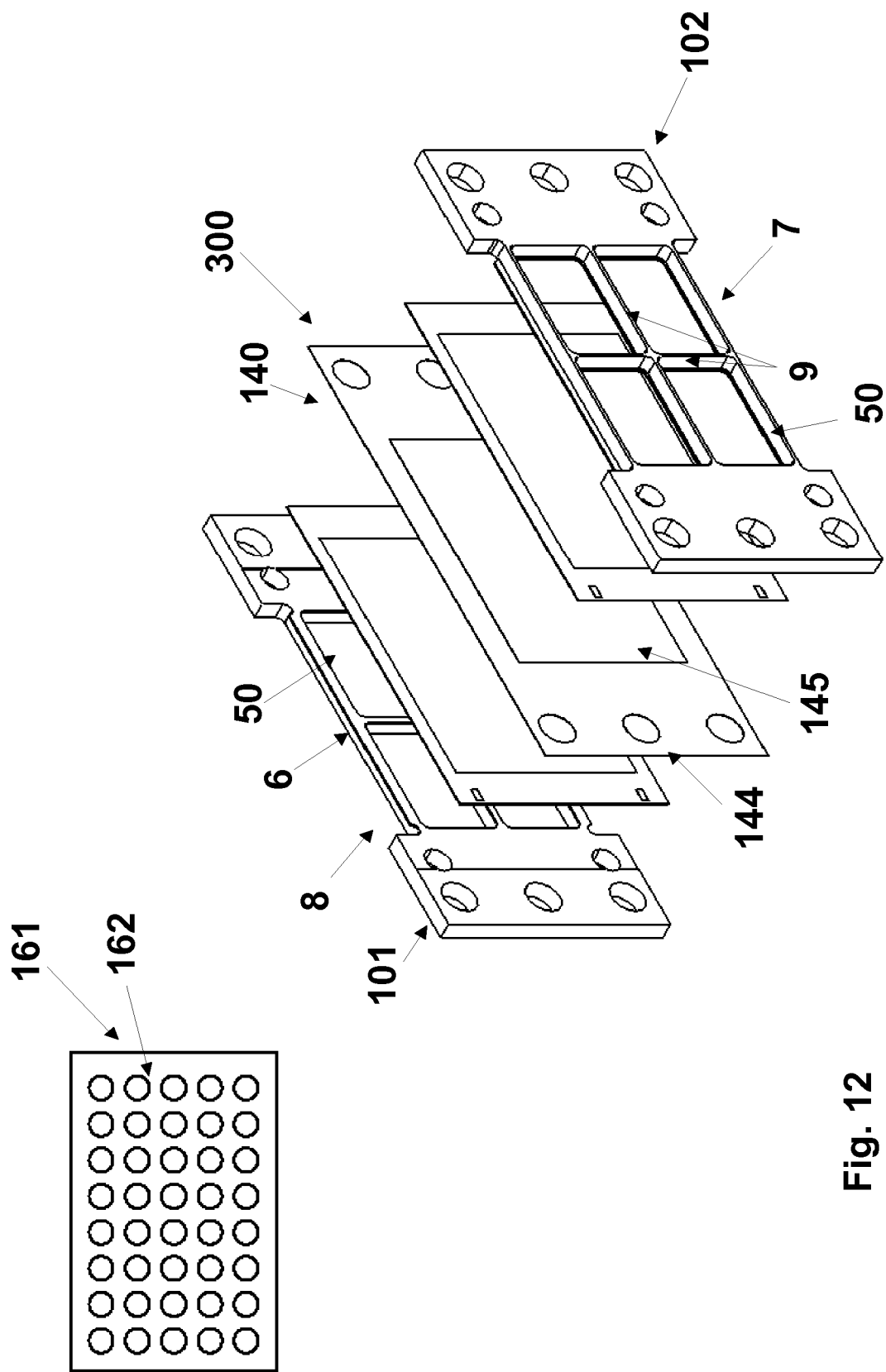
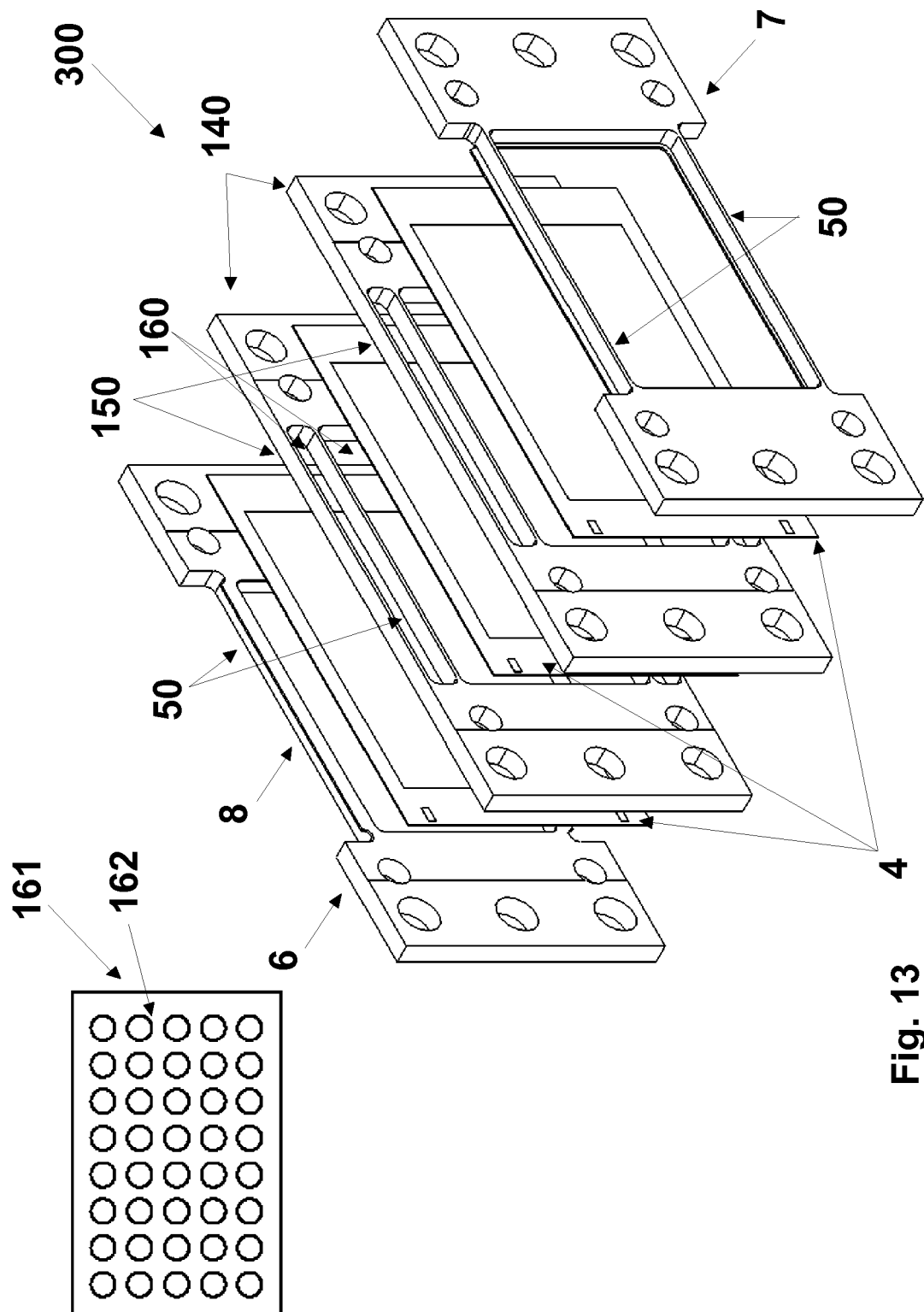


Fig. 12



**Fig. 13**

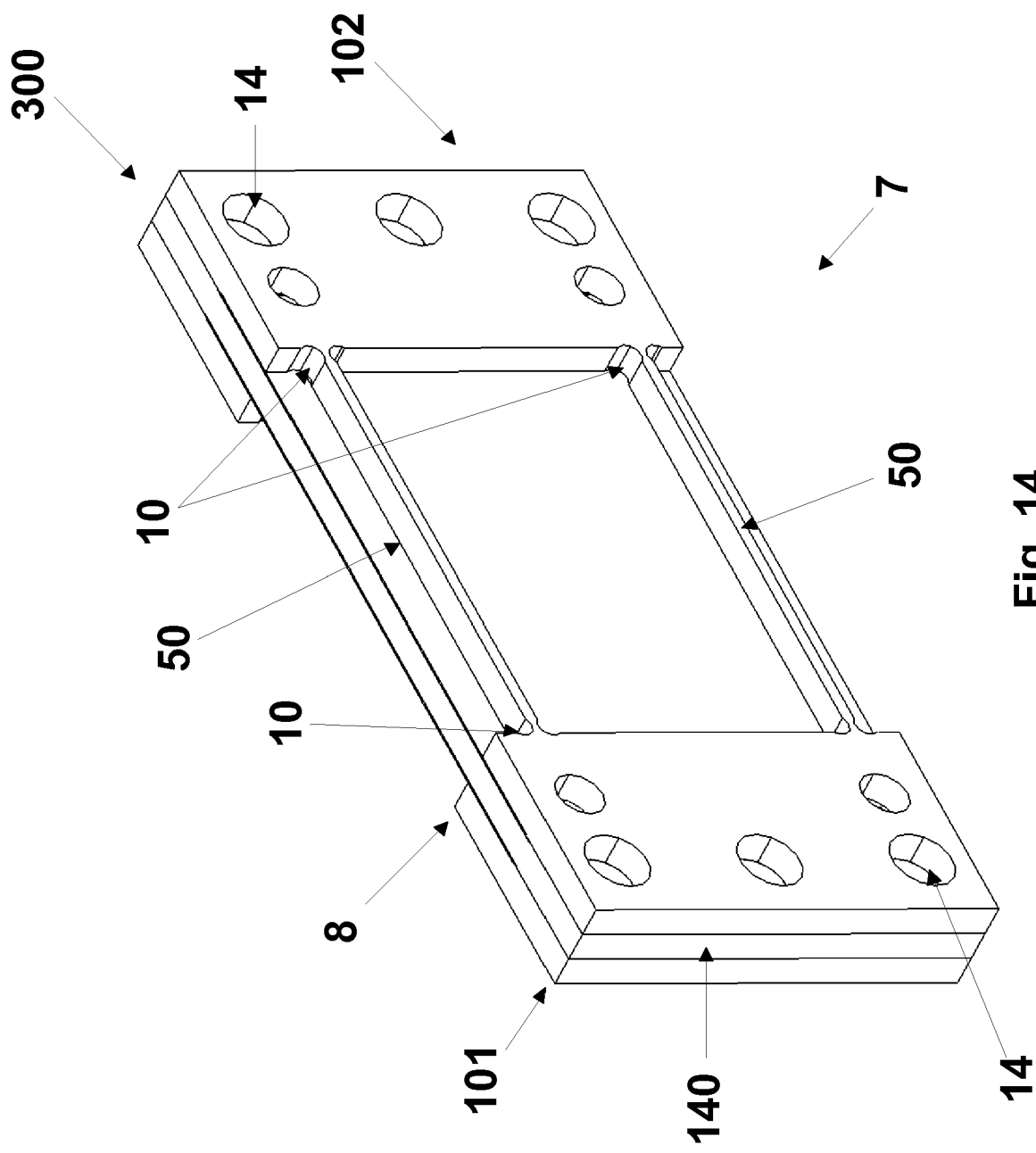
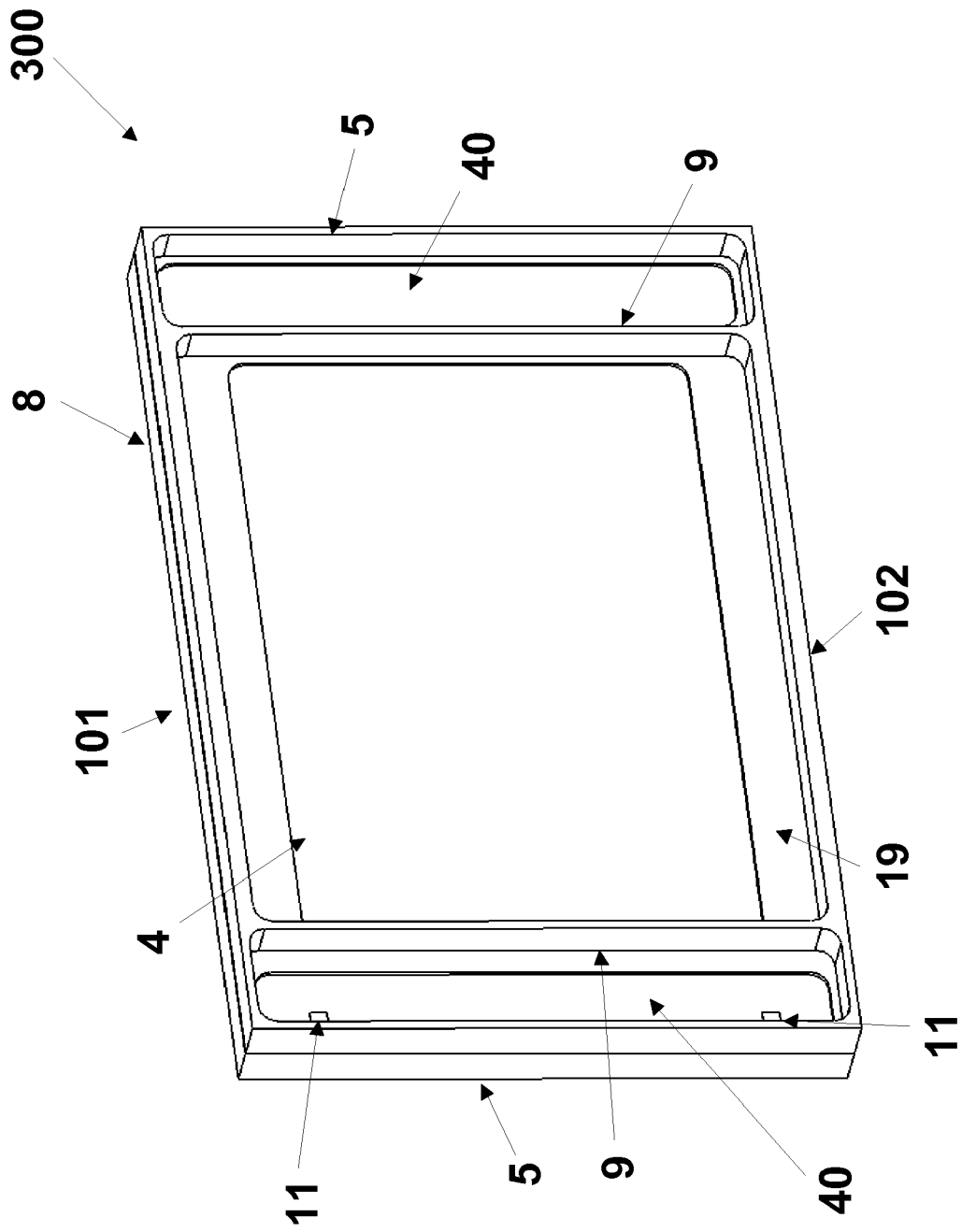


Fig. 14



**Fig. 15**

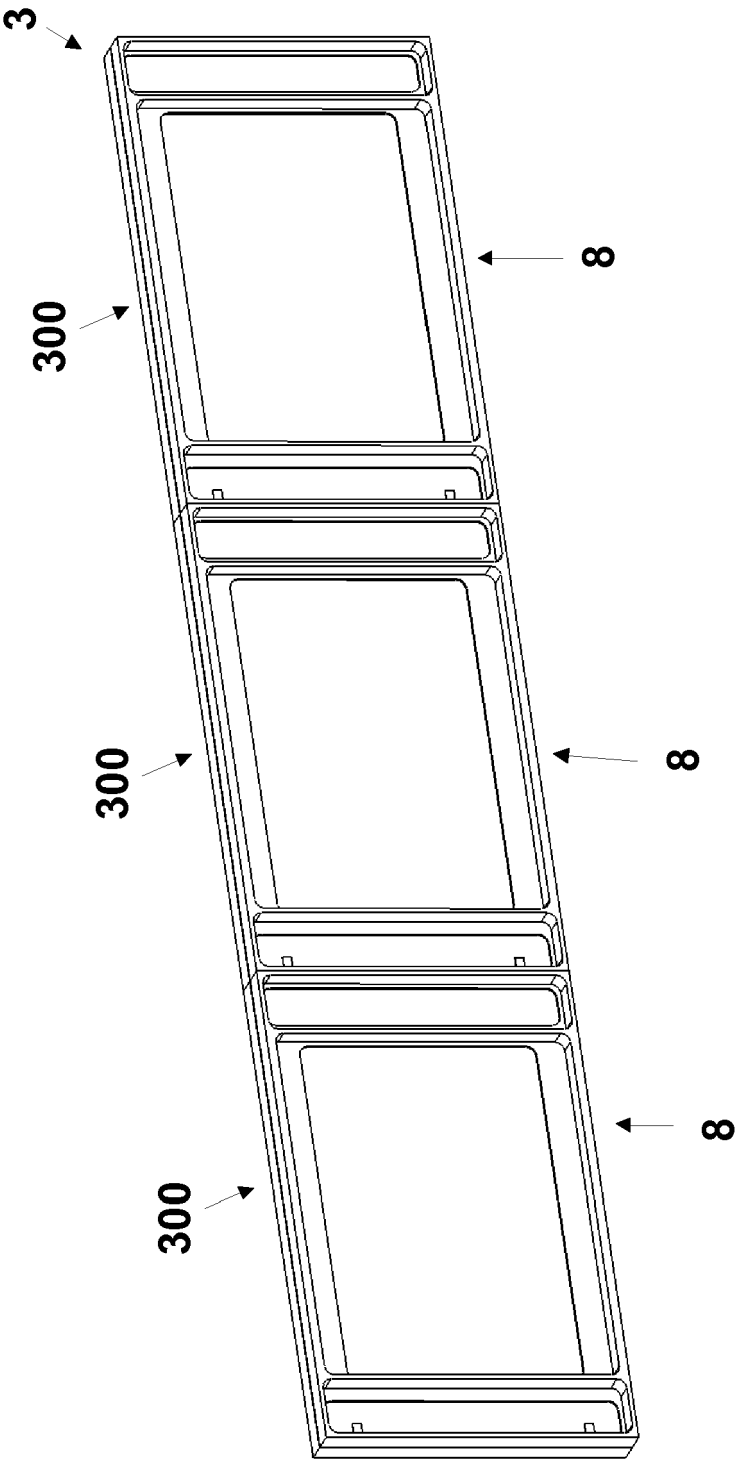


Fig. 16



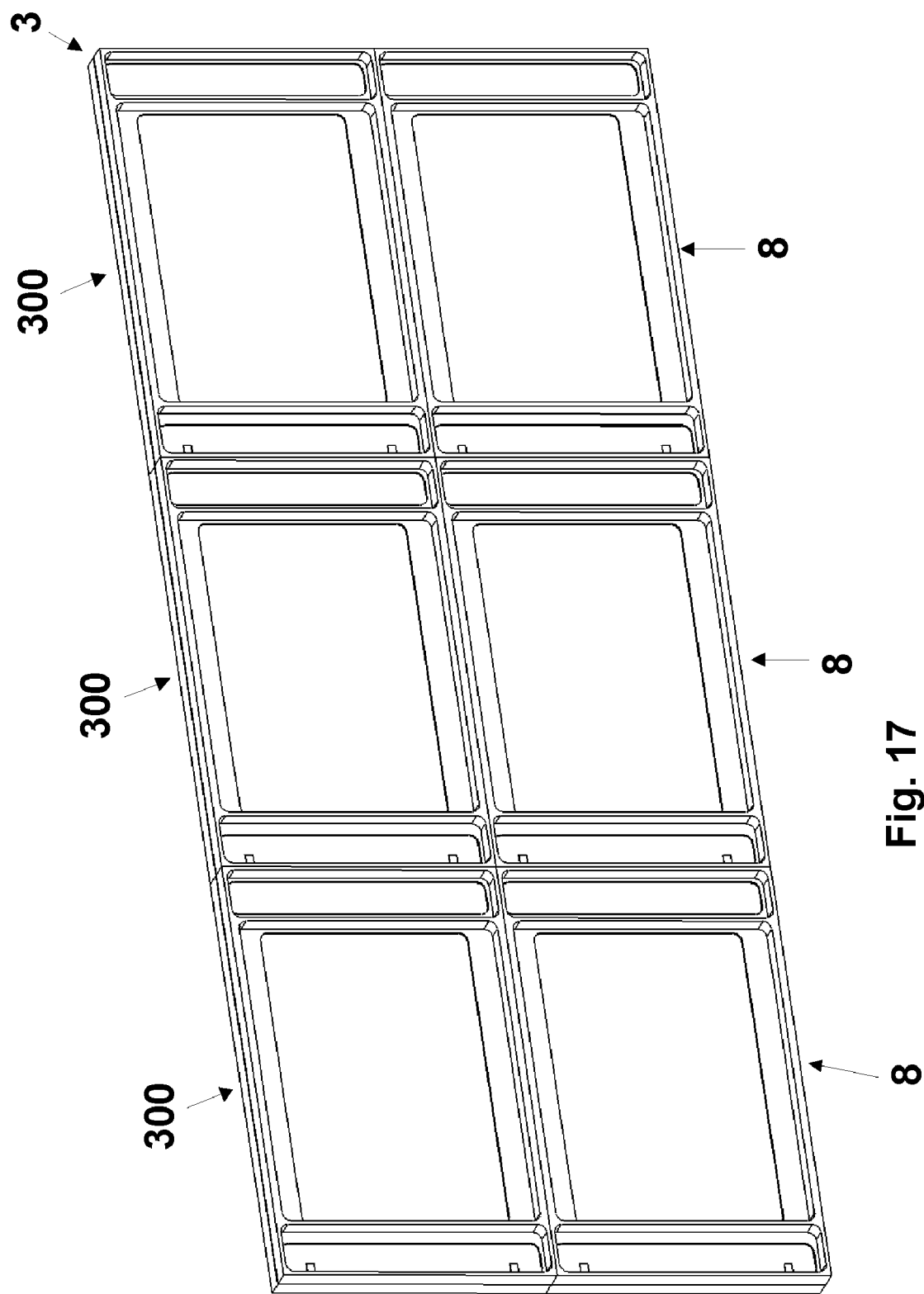


Fig. 17



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 09 15 1415

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE  |   |                             |                                    |
|---|---|-----------------------------|------------------------------------|
| Kategorie   | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile   | Betrifft Anspruch           | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| X   | EP 1 848 046 A (STANFORD RES INST INT [US]) 24. Oktober 2007 (2007-10-24)<br>* Absätze [0055] - [0063]; Abbildungen 2A-2C *                         | 1,3                         | INV.<br>H01L41/09                  |
| X   | US 2003/218403 A1 (DUBOWSKY STEVEN [US] ET AL) 27. November 2003 (2003-11-27)<br>* Absätze [0091], [0097] - [0101] *<br>* Abbildungen 20,23,26,27 * | 1-3,10                      |                                    |
| A   | US 5 869 189 A (HAGOOD IV NESBITT W [US] ET AL) 9. Februar 1999 (1999-02-09)<br>* Spalte 11, Zeile 39 - Spalte 12, Zeile 18; Abbildungen 5,5A *     | 1                           |                                    |
| D,A   | US 6 629 341 B2 (WILKIE W KEATS [US] ET AL) 7. Oktober 2003 (2003-10-07)<br>* Abbildung 9 *   | 1                           |                                    |
| A   | US 2007/200468 A1 (HEIM JONATHAN R [US]) 30. August 2007 (2007-08-30)<br>* Abbildungen 4A,23C *   | 4                           |                                    |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt   |   |                             | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)    |
|   |   |                             | H01L<br>B64C<br>F16F<br>H04R       |
| Recherchenort   |   | Abschlußdatum der Recherche |                                    |
| München   |   | 13. Mai 2009                |                                    |
| Prüfer  |   | Meul, Hans                  |                                    |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE   |   |                             |                                    |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur  |   |                             |                                    |
| T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |   |                             |                                    |

 2  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 09 15 1415

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13-05-2009

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentedokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie   | Datum der<br>Veröffentlichung  |
|---|-------------------------------|---|--|
| EP 1848046 A  | 24-10-2007                    | KEINE   |  |
| US 2003218403 A1                                    | 27-11-2003                    | AU 2003304471 A1<br>WO 2005027161 A2  | 06-04-2005<br>24-03-2005   |
| US 5869189 A  | 09-02-1999                    | KEINE   |  |
| US 6629341 B2                                       | 07-10-2003                    | AT 399370 T<br>AU 781033 B2<br>AU 5780700 A<br>CA 2389146 A1<br>EP 1230689 A1<br>EP 1983584 A2<br>IL 149169 A<br>JP 2003525755 T<br>SG 120162 A1<br>WO 0133648 A1<br>US 2006016055 A1<br>US 2003056351 A1<br>US 2004040132 A1 | 15-07-2008<br>28-04-2005<br>14-05-2001<br>10-05-2001<br>14-08-2002<br>22-10-2008<br>31-08-2005<br>02-09-2003<br>28-03-2006<br>10-05-2001<br>26-01-2006<br>27-03-2003<br>04-03-2004 |
| US 2007200468 A1                                    | 30-08-2007                    | KEINE   |  |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 6629341 B2 [0003]
- US 4197798 B2 [0003]
- US 20020005679 A1 [0005]
- DE 4220177 A1 [0006]